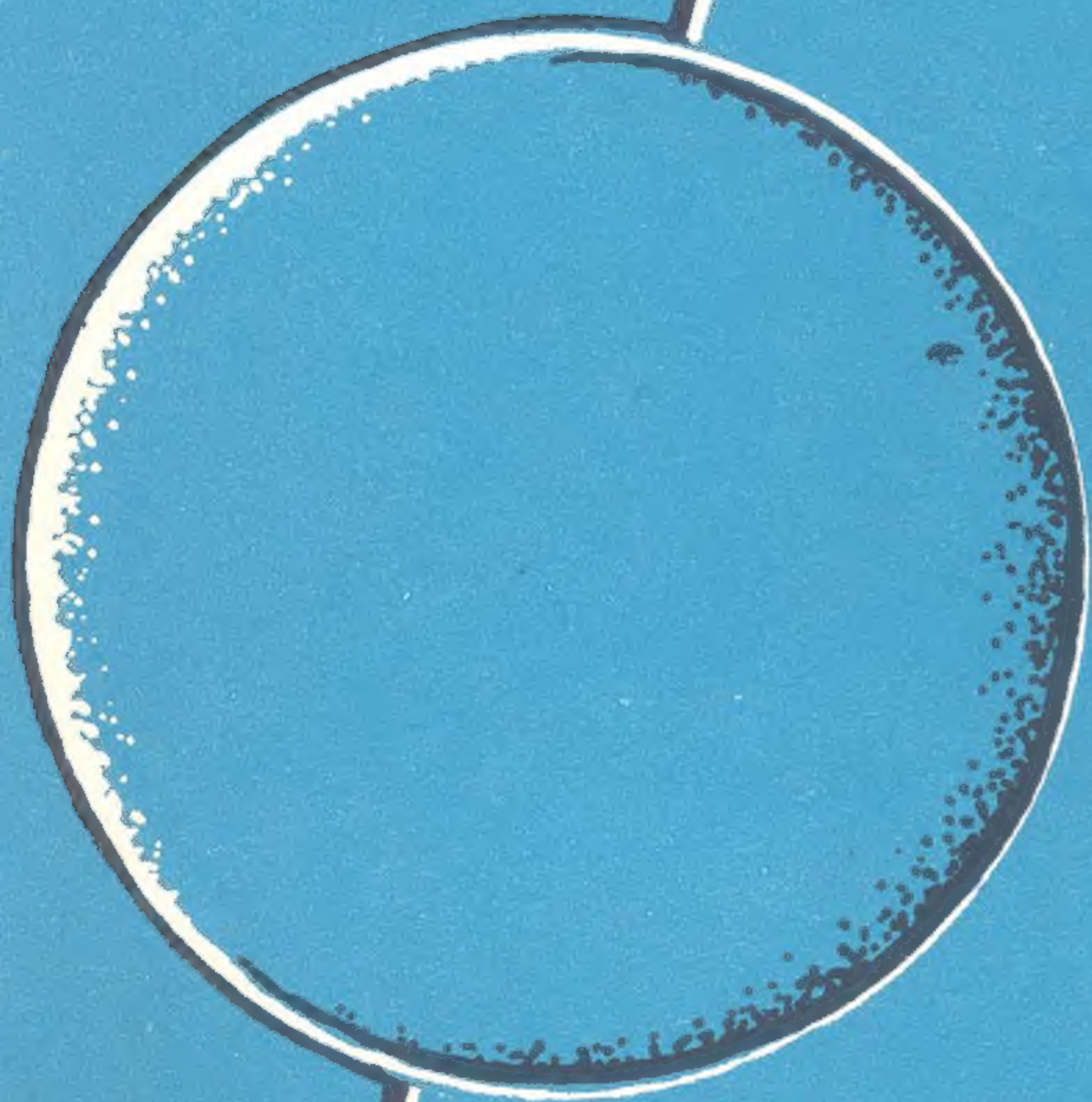
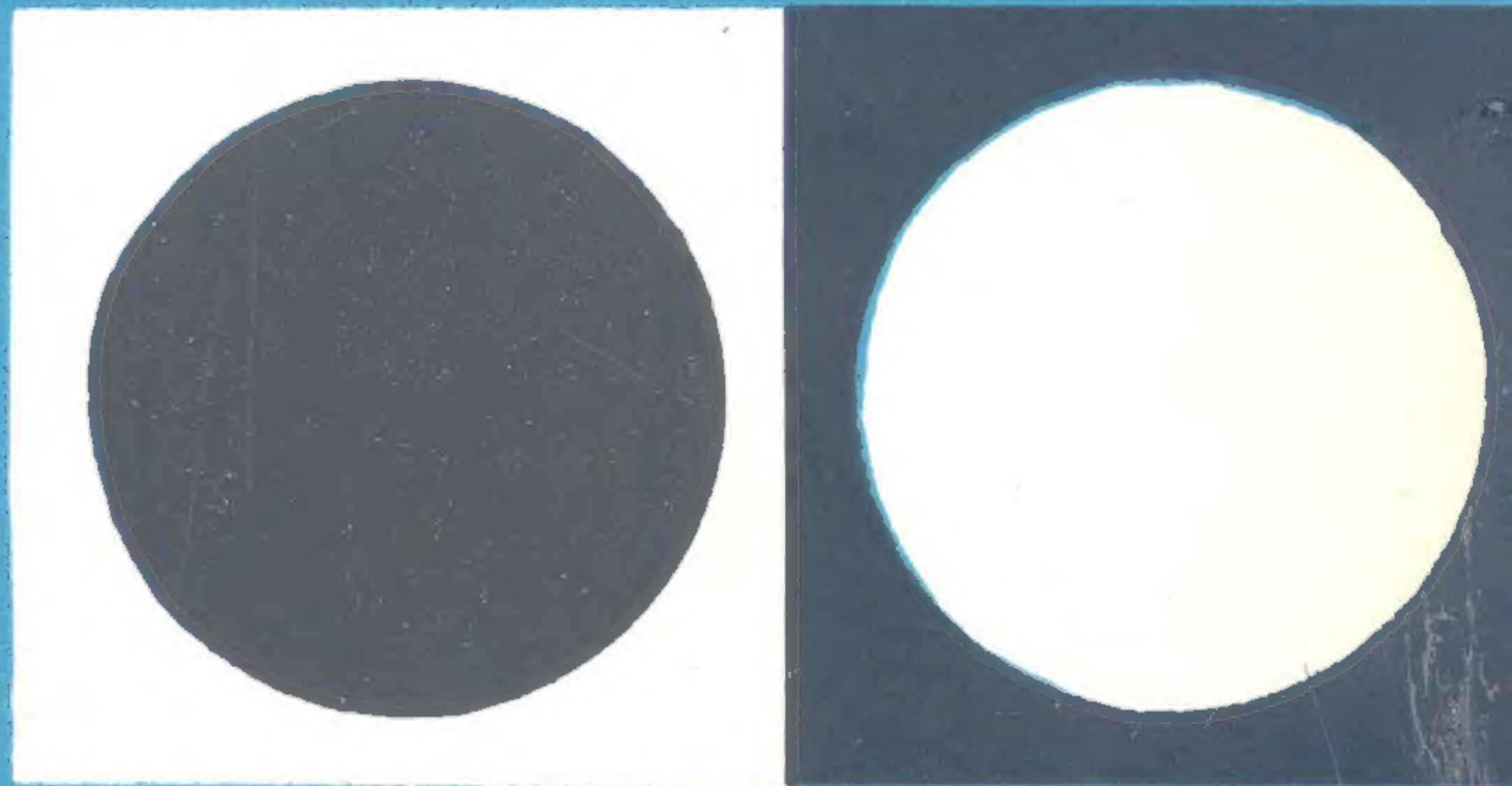


ألف باء النسبية

تأليف
برتراند رسل



ترجمه : فؤاد كامل
راعية : الدكتور محمد مرسى أحمد

ألف باء النسبية

تصدر هذه السلسلة بمعاونة
المجلس الأعلى لرعاية الفنون والآداب والعلوم الاجتماعية

الإلف كتاب

(٥٧٢)

ألف باء النسبية

تأليف
برتراند رسل

مراجعة
الدكتور محمد مرسي أحمد

ترجمة
فيواد كاميل

الناشر مركز كتب الشرق الأوسط

١٩٦٥

دار الثقافة العربية للطباعة

طبعة ١٩٧٤

هذه ترجمة كتاب :

THE ABC OF RELATIVITY

تأليف :

BERTRAND RUSSELL

الفصل الأول

اللمس والنظر: الأرض والسماء

يعرف الناس جميعاً أن دأينشتين ، قد أتى عملاً مثيراً للدهشة ، غير أن عدداً قليلاً جداً من الناس هو الذى يعرف على وجه الدقة ما أتاه دأينشتين . من المعروف عامة أنه أحدث ثورة فى تصوراتنا عن العالم الفزيائى ، غير أن تلك التصورات الجديدة مغلفة بالمصطلحات الرياضية البحتة . ومن الحق أن هناك تفسيرات مبسطة لآحصر لها لنظرية النسبية ، ولكنها تتأبى عامة على الوضوح حين تشرع فى قول شىء هام . ولا تثير فى هذا على المؤلفين ، فإن كثيراً من الأفكار الجديدة يمكن أن نعب عنها فى لغة لرياضية ، ومع ذلك ، فإن صعوبتها تأتي من هذه الناحية . إن ما نحتاج إليه هو تغيير فى الصورة التى تتخيلها للعالم . تلك الصورة التى انتقلت إيانا عن أسلاف بعءاء — بل لعلمهم كانوا أسلافاً عاشوا فى عصور سابقة على الإنسانية — فتعلمها كل واحد منا فى طفولته المبكرة . وتغيير خيالنا أمر عسير دائماً ، ولا سيما بعد أن نشب عن الطوق . وهذا الضرب عينه من التغيير هو الذى كان ينشده دكوبرنيكوس ، حين نادى بأن الأرض ليست ثابتة ، وأن السماء لا تدور حولها مرة كل يوم . وهذه الفكرة لا تنطوى الآن — فى نظرنا — على أية مشقة ، لأننا تعلمناها قبل أن تتجمد عادتنا العقلية . وبالمثل ، سوف تبدى أفكار دأينشتين ، أسهل بالنسبة للأجيال التى تنمو فى وقت واحد مع انتشار هذه الأفكار ، غير أنه لامناص بالنسبة لنا من أن نبذل مجهوداً معيناً فى إعادة بناء خيالنا .

ونحن حين نستكشف سطح الأرض ، نستخدم حواسنا جميعاً ، وعلى الأخص حاستى اللمس والنظر . وقد كان الناس فى العصور السابقة على العلم يستخدمون أجزاء من الجسم فى قياس الأطوال ، وبهذه الطريقة أمكن تحديد دالقدم ، ودالذراع ، ودالشبر ، . وفى المسافات الطويلة ، تفكر فى الزمن الذى يستغرقه السير من مكان إلى آخر . كما تعلمنا تدريجياً أن نحكم على المسافة

حكماً تقريبياً بمجرد النظر ، ولكننا نعتمد على اللمس إذا تحريتنا الدقة . وفضلاً عن ذلك ، فإن اللمس هو الذى يمنحنا الإحساس « بالواقع » . وثمة أشياء لا نستطيع لمسها مثل أقواس قزح ، والانعكاسات التى تظهر فى المرايا .. وهلم جرا . وهذه الأشياء تبعث بالحيرة فى نفوس الأطفال الذين تعطل تأملاتهم الميتافيزيقية معرفتهم بأن ما يوجد فى المرأة ليس « حقيقة » .. وقد كان خنجر مكبث غير حقيقى ، لأنه لم يكن « محسوساً بالنسبة لللمس كما هو محسوس بالنسبة للنظر » . ولا تقوم الهندسة والفزياء وحدهما على حاسة اللمس ، بل إن تصورنا كله لما يوجد خارجنا يقوم على هذه الحاسة ، وإننا لنضع ذلك فى استعارتنا فنقول عن خطبة جيدة إنها متماسكة ، ونقول عن خطبة رديئة إنها « هواء » ، لأننا نشعر أن « الهواء » ليس « واقعياً » تماماً .

وحين ندرس السماء ، نحرم من حواسنا جميعاً ، فلا تنبى لنا سوى حاسة النظر . فنحن لا نستطيع أن نلمس الشمس ، أو أن نساغر إليها ، كما لا نستطيع أن نطوف بالقمر ، أو أن نقيس « الثريا » بمسطرة . ومع ذلك فإن الفلكيين قد استخدموا — بلا تردد — الهندسة والفزياء اللذين انتفعا بهما على سطح الأرض واللذين أقاموهما على اللمس والسفر . وبهذه الفعلة جلبوا على رؤوسهم المتاعب التى تركوها لأينشتين كي يقوم بالتخلص منها ، واتضح أن كثيراً مما تعلناه عن طريق حاسة اللمس ما هو إلا تحيزات لاعلمية ، ينبغى أن ننبتها إذا أردنا أن تكون لدينا صورة حقيقية عن العالم .

وهذا مثل قد يساعدنا على أن نفهم مدى الاستحالة التى يلاقيها الفيلسوف إذا قيس بالرجل الذى يقتصر اهتمامه على الأشياء الموجودة فوق سطح الأرض . فلنفترض أن جرعة ما قد أعطيت لك لكى تغيب مؤقتاً عن وعيك ، فإذا استيقظت وجدت نفسك فاقداً لذا كرتك دون أن تفقد قواك المفكرة . ولننعم أكثر من ذلك فى الافتراض ، فنفترض أنك قد حملت أثناء غيبوبتك فى بالون ، وهذا البالون بعد أن عدت إلى وعيك — ينساب مع الريح فى ليلة ظلماء هى ليلة اليوم الخامس من نوفمبر إذا كنت فى إنجلترا ، أو الرابع من يوليو إذا كنت فى أمريكا ، وأنت تستطيع أن تشاهد الصواريخ التى تطلق من الأرض : من القطارات ، ومن الطائرات ، التى تسافر فى كافة الاتجاهات . ولكنك لا تستطيع

ان ترى الأرض أو القطارات أو الطائرات بسبب الظلمة . فما نوع الصورة التي
مبتكونها عن العالم ؟ سوف تعتقد أن لاشيء دائم : فليست هناك سوى ومضات
قصار من الضوء ، تنتقل أثناء وجودها القصير — خلال الفراغ في منحنيات
شديدة التباين والغرابة . وأنت لاتستطيع أن تلمس تلك الومضات من الضوء ،
كل ماتستطيعه هو أن تراها . ومن الواضح أن هندستك وفزياءك وميتافيزيقاك
ستكون مختلفة تمام الاختلاف عن البشر العاديين . وإذا كان معك في البالون
إنسان عادى ، فسوف نجد أنه يجمع بكلام غير مفهوم . أما إذا كان معك
أينشتين فسوف تفهمه على نحو أسهل كثيراً مما يفهمه الإنسان العادى ، لأنك
ستكون حينذاك متحرراً من طائفة من التصورات المسبقة التي تمنع معظم الناس
عن فهم مايقول .

وتعتمد نظرية النسبية إلى حد كبير على التخلص من المفاهيم التي تعد نافعة في
الحياة العادية ، ولكنها ليست كذلك بالنسبة لمسافر البالون الواقع تحت تأثير
المخدر . ذلك أن الظروف التي تنشأ على سطح الأرض توحى ، لأسباب عرضية
متعددة — بتصورات تبين فيما بعد أنها غير دقيقة ، وإن أصبحت تبدو كأنها
ضرورات للفكر . وأهم تلك الظروف أن معظم الأشياء على سطح الأرض دائمة دواما
معقولا ، وتكاد تكون ثابتة من وجهة نظر أرضية ، ولولم يكن هذا هو حالها ،
لما بدت فكرة القيام برحلة محددة على النحو الذي تبدو عليه فعلا . فإنك إذا
أردت أن تسافر من « كنجز كروس » إلى إدنبرة ، فأنت تعلم أنك ستجد
« كنجز كروس » حيث كانت دائما ، وأن الخط الحديدي سيسلك نفس الطريق
الذي اتبعه حين قمت برحلتك الأخيرة ، وأن محطة « ويفرلى » بأدنبرة لن تكون
قد انتقلت إلى « القلعة » . ومن ثم فإنك تقول وتعتقد أنك سافرت إلى إدنبرة ،
لا أن إدنبرة هي التي سافرت إليك ، وإن كانت العبارة الأخيرة لاتقل من حيث
الدقة عن الأولى . ونجاح هذه النظرة التي تستقيم مع الفطرة السليمة تعتمد على مجموعة
من الأشياء تدخل حقا في باب الحظ . فلنفترض أن منازل لندن تتحرك حركة دائمة
كسرب من النحل ، ولنفترض أن خطوط السكك الحديدية تتحرك وتغير
أشكالها كالسيول ، ولنفترض أخيراً أن الأشياء المادية تتشكل باستمرار وتتحلل
كالبسحب . هذه جميعاً افتراضات لاتنطوى على شيء من الاستحالة ، ولكن من

الواضح أن ما نسميه رحلة إلى إدنبرة ان يكون له معنى في مثل هذا العالم . وستبدأ بلاشك بأن تسأل سائق التاكسى . « أين يوجد كنجز كروس هذا الصباح ؟ » ولن تجد بداً — في المحطة — من أن تسأل سؤالا مماثلا عن إدنبرة ، غير أن عامل التذاكر سيجيب عليك قائلا : « أى جزء من إدنبرة تعنيه ياسيدى ؟ إن شارع البرنس (الأمير) قد ذهب إلى جلاسجو ، والقلعة قد صعدت إلى الجبال (الهايلاندز) ، ومحطة ويفرلى موجودة الآن تحت الماء وسط « فيرث فورث » . وفي أثناء الرحلة ، لن تبقى المحطات ساكنة إذ يكون بعضها راحلا إلى الشمال ، وبعضها الآخر إلى الجنوب أو الشرق أو الغرب ، وربما كانت رحلتها هذه أسرع كثيراً من القطار . في مثل هذه الظروف لن تستطيع أن تقول أين أنت في لحظة معينة . والواقع أن فكرة وجود الإنسان دائماً في « مكان » محدد ترجع إلى الثبات المحفوظ لمعظم الأشياء الكبيرة القائمة على سطح الأرض . وما فكرة « المكان » سوى تقريب عملي غليظ : إذ لا تتضمن شيئاً ضرورياً من الوجهة المنطقية ، كما لا يمكن تحديدها تحديداً دقيقاً .

ولو أننا لم نكن أكبر كثيراً من الإلكترون ، لما كان لدينا ذلك الإحساس بالثبات الذى لا يرجع إلا إلى ما تتصف به حواسنا من غلظة ، وستكون « كنجز كروس » التى تبدو — لنا صلبة — من الاتساع بحيث لا يستطيع أن يتصورها غير عدد قليل من علماء الرياضة الشواذ . وستكون القطع الصغيرة التى نستطيع أن نراها منها مؤلفة من نقط صغيرة غاية فى الصغر من المادة ، بحيث لا يتصل بعضها ببعض الآخر أبداً ، بل تدور باستمرار الواحدة حول الأخرى فى رقصة من رقصات الباليه السريعة سرعة لاسييل إلى تصورها . وسيكون عالم تجربتنا على قدر من الجنون يساوى ما عليه العالم الذى تسير فيه أجزاء إدنبرة المختلفة فى اتجاهات مختلفة . ولو أننا كنا — على سبيل التطرف المضاد — فى حجم الشمس ، وكانت أعمارنا طويلة كعمرها — فسوف نجد — ببطء مناظر فى الإدراك — كوناً مقلوباً رأساً على عقب لا يعرف الدوام — النجوم والكواكب فيه تغدو وتذهب كغمامات الصباح ، ولن يبقى ثمة شيء فى مركز ثابت بالنسبة لأى شيء آخر . وهكذا ترجع فكرة الثبات المقارن التى تؤلف جزءاً من نظرتنا العادية إلى تلك الحقيقة ، وهى أننا بالحجم الذى نحن عليه ، وإلى

أننا نعيش على كوكب سطحه غير مرتفع الحرارة ارتفاعاً كبيراً . ولو لم تكن هذه حالنا لما وجدنا الفزياء السابقة على النسبية مرضية من الناحية العقلية . وما كنا اخترعنا مثل هذه النظريات بكل تأكيد ، ولتوصلنا إلى الفزياء النسبية في وثبة واحدة ، أو ظللنا جاهلين بالقوانين العملية . ومن حسن حظنا أننا لم نواجه الاختيار بين أحد هذين الأمرين ، مادام يكاد يكون من غير المتصور أن يقوم رجل واحد بما قام به إقليدس وجاليليو ونيوتن وأينشتين . ومع ذلك فمن الصعب — بدون هذه العبقرية الحارقة — أن يكون من المتعذرا اكتشاف الفزياء في عالم يبدو فيه التدفق flux الشامل واضحاً للملاحظة غير العلمية .

وفي علم الفلك ، على الرغم من أن الشمس والقمر والنجوم تواصل وجودها عاما بعد عام ، فإن العالم — الذي يجب أن تتناوله — مختلف من جوانب أخرى عن عالم الحياة اليومية ، اختلافاً شديداً . فنحن نعتمد — كما سبق أن لاحظنا — على حاسة النظر وحدها : إذ لانستطيع أن نلمس الأجرام السماوية أو أن نسمعها أو أن نشمها أو أن نتذوقها . وكل شيء في السماء يتحرك بالنسبة لسكل ماعداه . الأرض تدور حول الشمس ، والشمس تتحرك أسرع كثيراً من القطار السريع صوب نقطة في برج هرقل ، والنجوم « الثابتة » تمرق هنا وهناك كجموعة من الدجاجات المذعورة . ولا وجود في السماء لأماكن مميزة كمحطة « كنجز كروس » أو إدنبرة . وعند ما تسافر على الأرض من مكان إلى مكان ، تقول إن القطار يتحرك لا المحطات ، لأن المحطات تحافظ على علاقاتها الطبوغرافية (المكانية) إحداها بالأخرى ، وبالأبلاد المحيطة بها . أما في علم الفلك فإنه من التعسف أن تحدد أيهما القطار وأيهما المحطة : ولا يتحدد هذه المسألة إلا بالاتفاق البحث والمجرد الاصطلاح .

ومن الطريف ، في هذا المجال — أن نضع « أينشتين » في مقابل « كوبرنيكس » ، فقد كان الناس يعتقدون قبل كوبرنيكس أن الأرض ساكنة ، وأن السماء تدور حولها مرة كل يوم — وذهب « كوبرنيكس » إلى أن الأرض تدور « حقاً » مرة كل يوم . وأن الدوران اليومي للشمس والنجوم دوران « ظاهري » فحسب . وتبنى جاليليو ونيوتن هذا الرأي ، وكان من المعتقد أن هناك أشياء كثيرة

تثبته ، مثل تفلطح الأرض عند القطبين ، وأن الأجسام أثقل هناك منها عند خط الاستواء . أما في النظرية الحديثة فإن الخلاف بين كوبرنيكس وأسلافه مجرد اختلاف اصطلاحى ، فكل حركة نسبية ، ولا خلاف هناك بين القضيتين : « الأرض تدور مرة كل يوم » و « السماء تدور حول الأرض مرة كل يوم » . هاتان القضيتان تعنيان شيئاً واحداً بعينه ، تماماً مثلما أقول إن شيئاً معيناً طوله ست أقدام أو ياردتان . وعلم الفلك أيسر إذا أخذنا الشمس على أنها ثابتة بدلاً من الأرض ، كالحسابات تكون أسهل بالعملة العشرية . أما أن يقول المرء شيئاً أكثر من ذلك عن كوبرنيكس فهذا معناه افتراض الحركة المطلقة وهذا وهم . كل حركة نسبية والنظر إلى جسم ما بوصفه ثابتاً ، مجرد اتفاق ، وكل هذه الاتفاقات مشروعة على حد سواء ، وإن لم تكن جميعاً على درجة واحدة من السهولة .

ثم مسألة أخرى على جانب عظيم من الأهمية يختلف فيها الفلك عن الفزياء الأرضية لاعتماده اعتماداً مقصوراً على البصر : استخدام كل من التفكير الشعبى والفزياء العتيقة فكرة « القوة » التى بدت واضحة لأنها كانت مرتبطة بالإحساسات المألوفة ، فنحن حين نسير ، نشعر بإحساسات ترتبط بعضلاتنا ، وهذه الإحساسات لا نشعر بها حين نجلس ساكنين . وفي العصور السابقة على السحب الميكانيكى ، وعلى الرغم من أن الناس كانوا يستطيعون السفر وهم جلوس فى عرباتهم ، فإنهم كانوا يستطيعون أن يشاهدوا — فى وضوح — الجياد تجهد نفسها ، وتبذل « قوتها » بنفس الطريقة التى يبذل بها الناس قواهم . وكل إنسان يعرف بالخبرة ما يعنيه الدفع أو الجز ، وما يعنيه أن يدفع وأن يجز . وهذه الحقائق المألوفة للغاية جعلت « القوة » تبدو أساساً طبيعياً لعلم الديناميكا . غير أن قانون نيوتن للجاذبية أقام عقبة فى هذا السبيل ، فالقوة الموجودة بين كرتين من كرات البلياردو تبدو مفهومة لأننا نعرف ما يعنيه الاصطدام بشخص آخر ، أما القوة الموجودة بين الأرض والشمس التى تبعد عنها ثلاثة وتسعين مليوناً من الأميال فأمرها غامض . وقد رأى نيوتن نفسه أن « الفعل على البعد » مستحيل ، ومن ثم فقد اعتقد أن هناك نظاماً آلياً لم يكتشف بعد ، يجعل تأثير الشمس ينتقل إلى البكواكب . وأما كان الأمر ، فإن مثل هذا النظام الآلى

يكشف ، وظلت الجاذبية لغزاً . والحقيقة هي أن تصور « القوة » برمته تصور خاطيء . والشمس لا تمارس أية قوة على الكواكب ، وفي قانون أينشتين للجاذبية ، كل ما يفعله الكوكب هو أنه ينتبه إلى ما يجده في المناطق المجاورة له . أما كيف يتم هذا الانتباه فسوف نشرحه في فصل آخر ، وأما الآن فنحن مهتمون بضرورة التخلص عن فكرة « القوة » التي ترجع إلى التصورات المضللة المستمدة من حاسة اللمس .

وكما تقدمت الفزياء ، بدا من الواضح أكثر فأكثر أن النظر أقل تضليلاً من اللمس بوصفه مصدراً الأفكار الأساسية التي نكوها عن المادة . والبساطة الظاهرة في اصطدام كرات البلياردو بساطة وهمية تماماً . والواقع أن كرتي البلياردو لا تتلامسان قط ، وما يحدث حقاً معقد بصورة لا سبيل إلى تصورهما ، ولكنه أشبه بما يحدث حين ينفذ شهاب إلى النظام الشمسي ويخرج منه ثانية ، منه بما يفترض الحس العام حدوثه .

إن معظم ما قلناه آنفاً ، قد عرفه علماء الطبيعة فعلاً قبل أن يخترع أينشتين نظرية النسبية . فقد كان من المعروف أن « القوة » مجرد وهم رياضي ، كما كان من المعتقد أن الحركة مجرد ظاهرة نسبية ، أي أنه حين يغير جسمان موضعهما النسبي فإننا لا نستطيع أن نقول إن أحدهما يتحرك ، بينما الآخر ثابت ، مادامت الحادثة مجرد تغير في علاقة أحدهما بالآخر . غير أنه كان لابد من كدح عظيم حتى يمكن أن تنسجم عمليات الفزياء الفعلية مع هذه المعتقدات الجديدة . وكان نيوتن يعتقد في القوة وفي المكان والزمان المطلقين ، وقد أدخل هذه المعتقدات في مناهجه الفنية ، وظلت مناهجه هي المناهج التي يتبعها الفيزيائيون الذين جاءوا بعده ، أما أينشتين فقد اخترع منهجاً جديداً متحرراً من افتراضات نيوتن . ولكنه كان لابد له — لكي يفعل ذلك — من أن يغير الأفكار القديمة عن الزمان والمكان تغييراً أساسياً ، وهي أفكار لم يستطع أن يتحداها أحد منذ أزمنة سحيقة . وهنا تكمن صعوبة هذه النظرية وطرافتها . ولكن ، قبل شرحها ، ثمة تمهيدات أولية لا غنى عنها . وهذا هو موضوع الفصلين التاليين .

الفصل الثاني

ما يحدث وما يشاهد

ثمة نمط معين من الأشخاص الممتازين كلف بتأكيد أن « كل شيء نسبي » وهذا ، بالطبع ، هراء ، لأنه إذا كان « كل شيء » نسبياً ، فلن يكون هناك « شيء » تصبح الأشياء نسبية إليه . ومهما يكن من أمر ، فمن الممكن أن نعتقد — دون الوقوع في ضروب المحال الميتافيزيقية — أن كل شيء في العالم الفيزيائي نسبي لمشاهد ما . وهذا الرأي — سواء أكان صحيحاً أم لم يكن — ليس هو الرأي الذي تثبته « نظرية النسبية » . وربما كان الاسم غير موفق ، فمن المؤكد أنه قد أوقع الفلاسفة وغير المتعلمين في ضروب من الخلط ، إذ يتخيلون أن النظرية الجديدة تثبت أن « كل شيء » في العالم الفيزيائي نسبي ، بينما الأمر على العكس من ذلك ، إذ تحرص هذه النظرية الجديدة حرصاً تاماً على استبعاد كل ما هو نسبي ، والوصول إلى صيغة للقوانين الفيزيائية لا تعتمد بحال من الأحوال على ظروف المشاهد . والحق أن هذه الظروف قد وجد أن لها تأثيراً على ما يتبدى للمشاهد ، تأثيراً أعظم مما كان يذهب إليه الفكر قبل ذلك ؛ غير أن أينشتاين ، أوضح — في الوقت نفسه — كيفية التخلص من هذا الأثر تخلصاً تاماً . وهذا هو مصدر كل ما يبعث على الدهشة في نظريته تقريباً .

حين يدرك اثنان من المشاهدين ما ينظر على أنه حادث واحد ، يكون بين إدراكيهما تشابهات معينة ، واختلافات معينة أيضاً . أما الاختلافات فتطمسها مقتضيات الحياة اليومية ، لأنها تافهة من وجهة النظر العملية . غير أن علم النفس وعلم الفيزياء مرغان — كل من زاويته المختلفة عن الآخر — على تأكيد الجوانب التي يختلف فيها إدراك شخص لحادثة معطاة عن إدراك شخص آخر لهذه الحادثة نفسها . ويرجع بعض هذه الاختلافات إلى اختلافات في أخاخ أو عقول المشاهدين ، وقد يرجع بعضها إلى اختلافات في أعضاء الحس ، أو إلى الموقف الفيزيائي ، ويمكن أن نسمي هذه الأنواع الثلاثة على التوالي : النفسى ،

والفسيولوجى ، والفزيائى نحن نسمع ملاحظة ما إذا قيلت بلغة نعرفها ، على حين قد تمضى ملاحظة تقال بصوت مرتفع وبلغة لا نعرفها — دون أن نطقن إليها قط . وإذا وقف رجلان على جبال الألب ، فقد يدرك أحدهما جمال المنظر ، بينما يلاحظ الآخر مساقط المياه وكيفية الحصول على الطاقة منها : هذه اختلافات نفسية . أما الاختلافات بين رجل بعيد النظر ورجل قصير النظر أو بين رجل أصم ، ورجل مرفف السمع ، فهى اختلافات فسيولوجية . وهذان النوعان من الاختلافات لانهتم بهما ، ولم أذكرهما إلا لى أستبعدهما . والنوع الذى يهمنا هو النوع الفزيائى البحت . والاختلافات الفزيائية بين مشاهدين تظل قائمة حين نستبدل المشاهدين بآتين للتسجيل ، ومن الممكن إعادة إنتاجها فى فيلم أو على جرافاموفون . وإذا استمع رجلان إلى شخص ثالث يتحدث ، وكان أحدهما أقرب إلى المتحدث من الآخر ، فإن الأقرب سيستمع إلى أصوات أعلى وأسبق قليلا من الأصوات التى يسمعها الآخر . وإذا راقب رجلان شجرة تسقط ، فإن كلا منهما سيراهما من زاوية مختلفة . وهذه الاختلافات تبينها آلات التسجيل نفس البيان . فهى ليست راجعة إلى انحرافات فى المشاهدين ، ولكنها جزء من المجرى العادى للطبيعة الفزيائية كما نجرها .

ويعتقد الفزيائى — شأنه فى ذلك شأن الرجل العادى — أن إدراكاته الحسية تمنحه معرفة بما يحدث حقاً فى العالم الفزيائى ، لاعن تجاربه الخاصة فحسب . وهو ينظر إلى العالم الفزيائى — من وجهة نظر المهنة — على أنه حقيقى ، لا بوصفه مجرد شيء تحلم به الكائنات الإنسانية . فكسوف الشمس — مثلاً — يمكن أن يشاهده أى شخص إذا وقف فى مكان مناسب ، كما تشاهده أيضاً الألواح الفوتوغرافية المخصصة لهذا الغرض . والفزيائى مقتنع بأن شيئاً قد حدث حقاً يتجاوز تجربة أولئك الذين نظروا إلى الشمس أو إلى صور لها . ولقد ألححت على هذه النقطة التى قد تبدو واضحة وضوحاً لا يحتاج إلى فضل بيان ، لأن بعض الناس يتخيلون أن أينشتين أحدث اختلافاً من هذه الناحية . والواقع أنه لم يأت بشيء من هذا القبيل .

ولكن إذا كان للفزيائى ما يبرر اعتقاده فى أن عندنا من الناس يمكن أن

يشاهد « نفس » الحادث الفزيائى ، فمن الواضح إذن أن الفزيائى ينبغى أن تهتم بتلك السمات المشتركة فى الحادث بالنسبة للمشاهدين جميعاً ، لأن السمات الأخرى لا يمكن أن ينظر إليها بوصفها منتسبة للحادث نفسه . أو على الأقل ، ينبغى أن يقصر الفزيائى نفسه على السمات المشتركة للملاحظين الذين هم على « مستوى واحد من الصلاحية » . فالمشاهد الذى — يستخدم مجهرأ أو منظاراً فلسكياً مفضل على لمشاهد الذى لا يستخدم شيئاً ، ذلك لأنه يرى كل ما يراه هذا الأخير ، وأكثر منه أيضاً . وقد « يرى » لوحاً فوتوغرافياً حساساً ، أكثر من ذلك ومن ثم فإنه مفضل على أية عين . أما الاختلافات الخاصة بالمنظور ، أو بالحجم الظاهرى التى ترجع إلى اختلاف المسافة ، فمن الواضح أنها لا ترجع إلى الشئ موضوع المشاهدة ، فهى تنتسب إلى وجهة نظر المشاهد فحسب . ويحذف الحس العام هذه الاختلافات فى حكمه على الأشياء ، وعلى الفزياء أن تمضى بهذه العملية نفسها إلى أبعد من ذلك كثيراً ، غير أن المبدأ واحد بعينه .

وأحب أن أوضح أننى است مهتما بما يمكن أن يسمى عدم الدقة ، فأنا مهتم بالاختلافات الفزيائية الحقيقية بين الوقائع التى يعد كل منها وصفاً صحيحاً لحادثة معينة ، من وجهة نظرها الخاصة . فحين يطلق رجل مدفعاً ، فإن الأشخاص الذين ليسوا على مقربة منه تماماً ، يرون الومضة ، قبل أن يسمعوا صوت المدفع ، ولا يرجع هذا إلى أى عيب فى حواسهم ، وإنما إلى هذه الحقيقة وهى أن الصوت ينتقل انتقالاً أبطأ من الضوء . والضوء ينتقل بسرعة إلى درجة يمكن معها — من وجهة نظر الظواهر الحادثة على ظهر الأرض — أن نعدّه فورياً . وكل ما يمكن أن نراه على الأرض يحدث — عملياً — فى اللحظة التى نراه فيها . وفى الثانية الواحدة يقطع الضوء ٣٠٠.٠٠٠ كيلومتر (أى حوالى ١٨٦.٠٠٠ ميل) ، وهو ينتقل من الشمس إلى الأرض فى حوالى ثمانى دقائق ، ومن النجوم ما ينتقل ضوءه إلينا فيما بين أربعة إلى ألف مليون عام . ولكننا ، لانستطيع بالطبع أن نضع ساعة على الشمس ، ونرسل منها ومضة من الضوء فى الساعة الثانية عشر ظهراً بتوقيت جرينتش ، وأن نستقبلها فى جرينتش فى الساعة الثانية عشرة وثمانى دقائق بعد الظهر ، إذ لا مناص من أن تكون مناهجنا فى تقدير سرعة الضوء غير مباشرة بصورة أو بأخرى . وأشد المناهج مباشرة هو ذلك الذى نطبقه على الصوت حين

نستخدم الصدى . ولكننا نستطيع أن نرسل شعاعاً إلى مرآة ، وأن نشاهد الوقت الذي يستغرقه وصول الانعكاس إلينا . وبهذا تقيس الوقت للرحلة المزدوجة التي قطعها الشعاع إلى المرآة ، ثم ارتداده إلينا . وأياً كان الأمر ، فإن هذا الوقت قصير — على الأرض — قصراً غير مريح ، بحيث لا بد للفزيائيين أن يستخدموا — في التطبيق — منهجاً أشد تعقيداً ، بيد أن المبدأ الكامن وراءها مازال هو مبدأ الصدى .

ويستخدم هذا المبدأ نفسه في الرادار لغرض آخر ، إذ نرسل الموجات اللاسلكية السريعة جد (التي تبلغ سرعة الضوء) لترتد حين تصطدم بشيء بعيد . وعلى ذلك يمكن استنتاج بعد هذا الشيء من الوقت الذي تقطعه الموجات في ذهابها وإيابها .

وربما قيل لنا إن مشكلة السماح بوجهة نظر المشاهد ، من المشكلات التي أدركتها الفيزياء في جميع العصور ، والحق أنها قد سيطرت على الفلك منذ عهد «كوبرنيكس» . هذا صحيح ، غير أن الاعتراف بالمبادئ يتم قبل استخلاص نتائجها الكاملة بوقت طويل . وشطر كبير من الفيزياء التقليدية لا يتفق مع هذا المبدأ ، على الرغم من اعتراف الفيزيائيين جميعاً بها ، من الوجهة النظرية .

ولقد وجدت طائفة من القواعد التي سببت ضرباً من عدم الارتياح لنوى العقليات الفلسفية ، ولكنها كانت مقبولة لدى الفيزيائيين لأنها سليمة من حيث التطبيق . وقد ميز لوك بين الصفات «الثانوية» . كالألوان ، والأصوات ، والطعم والرائحة .. إلخ — وصفها بأنها ذاتية subjective بينما ذهب إلى أن الصفات «الأولية» ، كالأشكال والأوضاع والأحجام ، هي الصفات الحقيقية الأشياء الفيزيائية . وكانت القواعد التي وضعها الفيزيائيون وكأنها نابعة من هذا المذهب ، فذهبوا إلى أن الألوان والأصوات ذاتية ، ولكنهم أرجعوا ذلك إلى موجات تنتقل في سرعة محددة ، هي سرعة الضوء أو الصوت على حسب الأحوال — من مصدرها إلى عين المتلقي أو أذنه . وتباین الأشكال الظاهرية وفقاً لقوانين المنظور ، غير أن هذه القوانين بسيطة ، وتجعل من السهل استنباط

الأشكال الحقيقية ، من عدة أشكال بصرية ظاهرة ، وفضلاً عن ذلك ، فإنه من الممكن التأكد من الأشكال الحقيقية ، باللمس في حالة الأجسام المجاورة لنا . أما الزمن الموضوعي لواقعة فيزيائية فمن الممكن استنباطه من الزمن الذي نشاهدها فيه بأن نضع في اعتبارنا سرعة الانتقال — انتقال الضوء أو الصوت أو التيارات العصبية وفقاً للظروف . وقد كان هذا هو الرأي الذي تبناه الفيزيائيون — في التطبيق — أياً كانت وخزات الضمير التي قد تعتر بهم في اللحظات اللامهنية .

وقد ظل هذا الرأي سليماً حتى أصبح الفيزيائيون مهتمين بسرعات أكبر كثيراً من السرعات المألوفة على سطح الأرض . فاقطار السريع يسير بسرعة ميل في الدقيقة ، أما الكواكب فتسير عدة أميال قلائل في الثانية الواحدة . وتسير الشهب حين تكون قريبة من الشمس ، بسرعة أكبر كثيراً ، ولكن نظراً لأن أشكالها في تغير مستمر ، فإنه من المحال تحديد مواقعها تحديداً دقيقاً جداً .. وقد كانت الكواكب — من الوجهة العملية — هي أسرع الأجسام المتحركة التي يمكن تطبيق علم الديناميكا عليها تطبيقاً مناسباً . وباكتشاف النشاط الإشعاعي والأشعة الكونية ، وبناء الآلات الخاصة بتوليد الطاقة ذات السرعة العالية ، أصبح من الممكن وجود مجالات جديدة للمشاهدة . وصار من الممكن مشاهدة حركة أجزاء الذرة ، تلك الجسيمات التي تتحرك بسرعات لا تقل كثيراً عن سرعة الضوء . ولم يكن سلوك هذه الأجسام المتحركة بتلك السرعات الهائلة هو السلوك الذي تؤدي بنا النظريات القديمة إلى توقعه ، ومن أمثلة ذلك ، أنه كان يبدو أن الكتلة تزداد مع السرعة بصورة محددة تحديداً تاماً . وحين كان الإلكترون يتحرك بسرعة كبيرة ، كان يتطلب قوة أعظم حتى يمكن التأثير عليه التأثير المطلوب ، كما لو كان يتحرك حركة بطيئة . ثم وجدت الأسباب التي تدعو إلى التفكير في أن الجسم يتأثر بالحركة ، فلو أنك أخذت مثلاً مكعباً وحركته بسرعة كبيرة فإنه يبدو أقصر في اتجاه حركته ، من وجهة نظر شخص لا يتحرك معه وإن كان يبقى كما هو تماماً من وجهة نظره هو (أي من وجهة نظر مشاهد يتحرك معه في نفس اتجاهه) . وكان أشد من ذلك إثارة للدهشة اكتشاف أن مرور الزمن يتوقف على الحركة ؛ أعني لو أن هناك ساعتين دقيقتين دقة تامة ، وتتحرك إحداهما بسرعة كبيرة بالنسبة للأخرى فإنهما لن تستمرا في بيان الزمن نفسه لو أنهما

عادتا معاً مرة أخرى عقب رحلة ما. وقد كان هذا الأثر ضئيلاً جداً بحيث لم يكن من الممكن إختباره حتى الآن ، ولكنه من الممكن إختباره لو أننا نجحنا في تقدم السفر خلال الفضاء ، إذ أننا سنتمكن حينئذ من القيام برحلات طويلة طويلاً يكفي لتقدير هذا التمدد الزماني كما يطلقون عليه .

وهناك بيئة مباشرة على «التمدد الزماني» واسكنها توجد بطريقة مختلفة . هذه البيئة تأتي من المشاهدات الخاصة بالأشعة الكونية التي تتألف من مجموعة متباعدة من الجسيمات النارية القادمة من الفضاء الخارجي ، والتي تتحرك محترقة الغلاف الجوي للأرض بسرعة عظيمة . وتتحلل بعض هذه الجسيمات التي تسمى « الميزونات » في أثناء طيرانها ، ومن الممكن مشاهدة هذا التحلل . وكلما كانت حركة الميزون أسرع ، كانت عملية تحلله أطول من وجهة نظر العالم الموجود على الأرض ، ويتبع مثل هذه النتائج أن — ما نكتشفه بوساطة الساعات والمساطر التي اعتدنا أن ننظر إليها بوصفها ذروة العلم — تعتمد حقاً إلى حد ما على الظروف الشخصية ، أي على الطريقة التي تتحرك بها بالنسبة للأجسام التي نقيسها .

وهذا يبين أننا لابد أن ننتهج خطة مختلفة عن الخطة المعتادة في التمييز بين ما ينتسب إلى المشاهد وما ينتسب إلى الواقعة التي يشاهدها ، ولو أن رجلاً كان يضع نظارات زرقاء فإنه يعرف أن نظرتة الزرقاء إلى كل شيء ترجع إلى نظاراته لا إلى ما يشاهده . ولكنه إذا كان يشاهد ومضتين من البرق ، وسجل فترة الزمن بين مشاهداته ، وإذا كان يعلم أين حدثت هاتان الومضتان ، وسجل في كل حالة الزمن الذي يستغرقه الضوء في الوصول إليه ، ففي هذه الحالة إذا كان الكرونومتر الذي يقيس به دقيقاً ، فسوف تعيقه بالطبع أنه قد اكتشف فترة الزمن الفعلية بين الومضتين لا مجرد شيء شخصي خاص به فحسب . ويتأكد رأيه بهذه الحقيقة وهي أن المشاهدين الآخرين جميعاً المتصلين به يوافقون على تقديراته . وهذا يرجع على كل حال إلى هذه الحقيقة فحسب وهي أن هؤلاء المشاهدين جميعاً موجودون على الأرض ويشاركون في حركتها . بل إن اثنين من المشاهدين كلا منهما في طائرة تتحرك في اتجاه مضاد الأخرى سيكون لهما على أقصى تقدير سرعة نسبية مقدارها ثلاثة آلاف ميل في الساعة ، وهي سرعة ضعيفة جداً إذا قورنت بـ ١٨٦٠٠٠ ميل في الثانية (وهي سرعة الضوء) ولو استطاع إلكترون

سرعته ١٧٠.٠٠٠ ميل في الثانية أن يشاهد الوقت الذي اتقضى بين الومضتين لوصل إلى تقدير مختلف تمام الاختلاف بعد أن يضع في اعتباره سرعة الضوء .. وقد يسألني القارئ : وكيف تعرف ذلك ! إنك است إلكتروناً ، كما أنك لا تستطيع أن تتحرك بتلك السرعات الخفيفة، ومامن عالم قام بالمشاهدات التي تثبت حقيقة عبارتك . ومع ذلك فهناك كما سنرى فيما يلي — أساساً طيباً لهذه العبارة — أساساً في التجربة — أولاً وقبل كل شيء ، وأساساً — وهذا هو الشيء العجيب — في الحجج التي كان من الممكن أن تساق في أى عصر ، ولكنها لم تقم حتى أثبتت التجارب أن الحجج لابد أن تكون مخطئة .

وثمة مبدأ عام تهيب به نظرية النسبية، وقد اتضح أن هذا المبدأ أقوى مما يمكن أن يفترضه أى إنسان ، فإذا علمت أن رجلاً أغنى من رجل آخر مرتين فهذه الحقيقة تظل كما هي سواء قدرت ثروة كليهما بالجنيهات أو بالدولارات أو بأية عملة أخرى . ستتغير الأرقام التي تمثل ثروتهما ، بيد أن رقماً سيظل دائماً ضعف الرقم الآخر. وهذا الشيء نفسه يعود للظهور في الفزياء — في صور أشد تعقيداً . ولما كانت كل حركة نسبية فمن الممكن أن تأخذ أى جسم تشاء على أنه معيار الإسناد أو المعيار الأساسى standard of reference وأن تقدر الحركات الأخرى جميعاً بالإشارة إلى هذا الجسم . فإذا كنت في قطار وتسير صوب عربة الأكل فمن الطبيعي في هذه اللحظة أن تعامل القطار على أنه ثابت وأن تقدر حركتك بالنسبة إليه ، ولكنك حين تفكر في الرحلة التي تقوم بها فإنك تفكر في الأرض بوصفها ثابتة ، فتقول إنك تتحرك بسرعة ستين ميلاً في الساعة ؛ والفلكي الذي يعنى بالنظام الشمسى يأخذ الشمس بوصفها ثابتة ، وينظر إليك على أنك تدور وتلف ، وإذا قورنت حركة القطار بهذه الحركة فإن القطار يبدو بطيئاً إلى درجة يمكن معها إهمال سرعته . وقد يضيف الفلكي المهتم بالسكون النجمى حركة الشمس بالنسبة لم توسط سرعة النجوم . وأنت لا تستطيع أن تقول إن طريقة من هذه الطرق التي تقدر بها حركتك أصح من الطرق الأخرى، فكل منها صحيحة مادامت قد حددت جسم الإسناد . وكما أنك تستطيع أن تقدر ثروة شخص ما بعملات مختلفة دون أن تغير علاقتها بثروات الآخرين، فكذلك تستطيع أن تقدر حركة جسم ما ببساطة

أجسام إسناد مختلفة دون تغيير علاقتها مع الحركات الأخرى. ولما كانت الفزياء معنية بالعلاقات عناية كاملة فلا بد أن يكون من الممكن التعبير عن قوانين الفزياء جميعاً بإرجاع الحركات كلها إلى أى جسم معين بوصفه معياراً .

ونستطيع أن نعبر عن هذه المسألة بطريقة أخرى . الفزياء تهدف إلى إعطاء المعلومات عما يحدث حقيقة في العالم الفزيائي ، لاعن الإدراكات الخاصة للمشاهدين المنفصلين فحسب . ومن ثم ينبغي أن تهتم الفزياء بتلك السمات التي تشترك فيها العمالية الفزيائية بالنسبة للمشاهدين جميعاً ، مادامت هذه السمات هي التي يمكن النظر إليها على أنها تنتمي إلى الواقعة الفزيائية نفسها ، وهذا يقتضى أن تكون القوانين التي تتحكم في الظواهر هي نفسها سواء وصفت هذه الظواهر كما تبدى لمشاهد ، أو وضعت كما تبدو لمشاهد آخر ، وهذا المبدأ الوحيد هو الدافع المولد لنظرية النسبية بأسرها .

والآن ، لقد وجدنا ما كنا ننظر إليه بوصفه الصفات المكانية والزمانية في الوقائع الفزيائية — وجدناه معتمداً إلى حد كبير على المشاهد ، ولا يمكن أن تعزى سوى فضلة فحسب إلى الوقائع نفسها ، وهذه الفضلة (أو البقية) وحدها هي ما يمكن أن يدخل في صياغة أى قانون فزيائي تتاح له فرصة « قبلية » لكي يكون صحيحاً . وقد وجد أينشتين أداة جاهزة تحت تصرفه في الرياضة البحتة هي ما نعرف باسم نظرية السكيات الممتدة theory of tensors وهذه النظرية مكنته من اكتشاف قوانين يتم التعبير عنها في مصطلح البقية الموضوعية وتتفق اتفاقاً تقريباً — مع القوانين القديمة ، وفي الأجزاء التي تختلف فيها قوانين أينشتين عن القوانين القديمة ، ثبت أنها أكثر اتفاقاً مع المشاهدة .

ولو لم يكن ثمة واقع في العالم الفزيائي ، بل مجرد طائفة من الأحلام راودت أشخاصاً مختلفين ، لما كان لنا أن نتوقع العصور على أية قوانين تربط أحلام شخص بأحلام شخص آخر . والرابطة الوثيقة بين الإدراكات الحسية لشخص ما وبين الإدراكات الحسية التي يشعر بها شخص آخر في الوقت نفسه ، هذه الرابطة هي التي تجعلنا نعتقد في أصل خارجي مشترك للإدراكات المختلفة المترابطة . وتعنى الفزياء بالتشابهات والاختلافات الموجودة بين إدراكات الناس لما نسميه

واقعة واحدة بعينها . ولكن ، لكي تفعل ذلك ، فمن الضروري أولاً بالنسبة للفزيائي أن يجد التشابهات . وليست هذه التشابهات هي التشابهات التقليدية المفترضة تماماً . إذ ليس من الممكن أن تأخذ الزمان أو المكان كلا على انفصال بوصفه موضوعياً دقيقاً . والموضوعي نوع من المزيج مواف من الاثنين يسمى متصل « المكان — الزمان » ، Space-time . وشرح ذلك ليس بالشيء اليسير ، ولكن ينبغي أن تقدم على هذه المحاولة ، وهذا ما سنشرع فيه في الفصل التالي .

الفصل الثالث

سرعة الضوء

ترتبط معظم الأشياء العجيبة في نظرية النسبية بسرعة الضوء . وإذا كان للقارىء أن يلم بالأسباب التي دعت إلى هذه الإعادة الخطيرة للبناء النظرى ، فلا بد من أن تكون لديه فكرة عن الحقائق التي جعلت النسق القديم ينهار .

وقد استقرت هذه الحقيقة — وهى أن الضوء ينتقل بسرعة محددة — استقرت أولاً عن طريق المشاهدات الفلكية .. فأقمار المشتري يكسفها المشتري أحياناً ، ومن اليسير حساب الأوقات التى يحدث فيها ذلك . واتضح أنه عندما يكون المشتري قريباً من الأرض قريباً غير عادى ، نشاهد أن أحد أقماره ينكسف قبل الوقت المنتظر بعدة دقائق ، وأنه حين يبتعد المشتري بعداً غير مألوف عن الأرض تحدث هذه الظاهرة بعد ذلك بدقائق قليلة عن الوقت المتوقع . ووجد أنه من الممكن تفسير هذه الانحرافات بافتراض أن للضوء سرعة معينة بحيث أن هذا الذى نشاهده يحدث للمشتري ، إنما قد حدث حقاً قبل ذلك بقليل — وأطول حين يكون المريخ بعيداً منه حين يكون قريباً . وكذلك وجد أيضاً أن سرعة الضوء نفسها تفسر حقائق مماثلة فيما يتعلق بأجزاء أخرى من النظام الشمسى . ومن ثم فقد اتفق العلماء على أن الضوء ينتقل فى الفراغ دائماً بسرعة ثابتة معينة هى — على وجه الدقة حوالى ٣٠٩.٠٠٠ كيلو متر فى الثانية (الكيلو متر يعادل خمسة أثمان الميل) . وحين ثبت أن الضوء يتألف من موجات ، أصبحت هذه السرعة هى سرعة انتشار الموجات فى الأثير — أو على الأقل ، كانت ، هذه الموجات تنتشر فى الأثير ، فقد أصبح الأثير الآن شيئاً مشكوكاً فيه ، وإن بقيت الموجات . وهذه السرعة نفسها هى سرعة الموجات اللاسلكية (التى تشبه موجات الضوء واسكنها أطول) وأشعة إكس (التى تشبه موجات الضوء ، ولكنها أقصر) . ومن المعتقد عامة فى هذه الأيام أن هذه السرعة هى السرعة التى تنتشر بها الجاذبية . (وكان من المعتقد — قبل اكتشاف نظرية النسبية أن الجاذبية

تنتشر انتشاراً فورياً ، بيد أن هذا الرأي أصبح الآن بلا أساس .

إلى هنا ، والأمور تسير سيراً هيناً .. ولكن ، ما إن أصبح من الممكن إجراء قياسات دقيقة حتى بدأت الصعوبات تتراكم . فلقد كان من المفروض أن الموجات موجودة في الأثير ، وبالتالي فإنه ينبغي أن تقاس سرعتها بالنسبة للأثير . وبما أن الأثير (إذا كان له وجود) لا يبدى أية مقاومة لحركات الأجرام السماوية ، فمن الطبيعي افتراض أنه لا يشارك في حركتها . ولو أن الأرض تدفع أمامها كمية من الأثير كما تدفع السفينة المياه أمامها ، فسيوقع المرء مقاومة من جانب الأثير مماثلة للمقاومة التي يبدىها الماء للسفينة . ومن ثم انعقد الرأي العام على أن الأثير يمكن أن ينفذ من خلال الأجسام دون صعوبة ، كما ينفذ الهواء خلال غربال غليظ ، بل إن الأثير ليس نفاذاً . وإذا كان الأمر كذلك ، فلا بد أن تكون الأرض وهي تدور في فلكها بسرعة بالنسبة للأثير . وإذا كانت تتحرك عند نقطة من فلكها مع الأثير ، فإنها لابد أن تتحرك في نقاط أخرى خلاله بنفس السرعة . فلو أنك قمت بنزهة دائرية في يوم عاصف ، فلا بد أن تسير شطراً من الرحلة ضد الريح ، أياً كان اتجاه هذا الريح ، والمبدأ في هذه الحالة واحد بعينه . ويلزم عن ذلك أنك لو اخترت يومين يبعد أحدهما عن الآخر ستة أشهر ، حين تكون الأرض في فلكها تتحرك في اتجاهين متضادين تماماً ، فلا بد أنها تتحرك ضد — ريح — الأثير في يوم واحد على الأقل من هذين اليومين .

والآن ، إذا كانت هناك ريح — أثيرية — فمن الواضح أنه بالنسبة لمشاهد يقف على الأرض ، سوف يبدو أن الإشارات الضوئية تنتقل بسرعة أكبر مع الريح منها حين تخترقه ، وأنها أسرع حين تخترقه — منها حين تكون ضده . وهذا ما شرع ميكلسون ومورلي في اختباره بتجربتهما الشهيرة . فقد بعثا بإشارات ضوئية في اتجاهين متعاكسين ، وانعكس كل منهما من مرآة ، وارتد كل منهما إلى المكان الذي أرسل منه . وهنا يستطيع كل إنسان أن يتحقق من هذه الواقعة سواء بالتجربة أو بشيء بسيط من الحساب ، أيهما يستغرق وقتاً أطول : إذا جددت مسافة معينة في اتجاه التيار ثم عدت إلى مكانك ، أم إذا جددت نفس المسافة بعرض النهر ثم عدت مرة ثانية ؟ وعلي ذلك إذا كان هناك ريح أثيرية فلا بد أن تنتقل إحدى الإشارتين

الضوئيتين اللتين تتألفان من موجات في الاثير - إلى المرأة ثم ترتد بسرعة أبداً من الإشارة الضوئية الأخرى . وحاول ميكلسون ومورلي القيام بهذه التجربة ، وحاولا القيام بها في أوضاع مختلفة وقاما بها مرة أخرى فيما بعد . وكان جهازهما دقيقاً دقة تكفي للكشف عن الاختلاف المتوقع في السرعة أو اختلاف أصغر من ذلك كثيراً إن وجد . ولكنهما لم يشاهدا اختلافاً أياً كانت ضآلته . وكانت النتيجة مفاجأة لهما : كما كانت مفاجأة اسكل من عداهما . غير أن التكرارات الدقيقة جعلت الشك محالاً . وقد أجريت التجربة لأول مرة عام ١٨٨١ ثم أعيدت بمزيد من التعقيد عام ١٨٨٧ ولكن كان لابد من انقضاء أعوام طويلة حتى يمكن تفسيرها تفسيراً صحيحاً .

فقد وجد أن الافتراض القائل بأن الأرض تحمل الاثير المجاور معها في حركتها افتراض مستحيل لعدة أسباب . وبالتالي ، بدا وكأنما أقيم سد منطقي حاول علماء الفيزياء في بداية الأمر - انتزاع أنفسهم منه بوضع افتراضات تحكيمية للغاية . كان أهم هذه الافتراضات الافتراض الذي وضعه فتزجيرالد وأكمله لورانتس . وهو المعروف بافتراض فتزجيرالد عن التقلص Fitzgerald Contraction hypothesis ويقول هذا الافتراض إنه حين يكون جسم ما متحركاً فإنه يتقلص في اتجاه حركته بنسبة معينة تتوقف على سرعته . وكمية التقلص كافية لتفسير النتيجة السالبة التي أسفرت عنها تجربة ميكلسون - مورلي ، ولابد أن تكون الرحلة مع التيار والعودة إلى نقطة البداية أقصر حقاً من الرحلة التي يقوم بها المرء بعرض النهر ، كما لابد أن تعبره في الوقت نفسه . وبالطبع لم يكن من الممكن تسجيل التقلص بالمقاييس لأن قضباننا المقياسية ستشارك فيه . فالمسطرة المقسمة إلى أقسام ستكون أقصر إذا وضعت في خط حركة الأرض منها إذ وضعت متعامدة على خط حركة الأرض . ووجهة النظر هذه شبيهة بخطة الفارس الأبيض الذي أراد ان يصنع فوديه باللون الأخضر مستخدماً في نفس الوقت مروحة كبيرة تحجبها دائماً . والغريب في الأمر أن الخطة نجحت نجاحاً لا بأس به ، وحين بحث أينشتين فيها بعد نظريته النسبية الخاصة (١٩٠٥) وجد أن الافتراض صحيح بمعنى ما ، ولكن بمعنى ما فحسب ، أي أن ذلك التقلص المفترض ليس حقيقة فيزيائية ولكنه نتيجة لمواضع معينة في القياس وهي مواضع

إذا وجدت وجهة النظر الصحيحة ولو مرة واحدة - فإننا نرغم على اعتناقها .
يبد أنتى لا أريد أن أعرض حل أينشتين لهذا اللغز بعد ، وإنما أريد فى الوقت
الحاضر أن أوضح طبيعة اللغز نفسه .

وإذا اقتصرنا على سطح المسألة وبقينا بمعزل عن الافتراض لهذا السبب ،
فقد أوضحت تجربة ميكسلون - مورلى (مع غيرها من التجارب) أن سرعة
الضوء بالنسبة للأرض - هى نفسها فى جميع الاتجاهات ، وهذا يصدق على أوقات
السنة كلها على الرغم من أن اتجاه حركة الأرض يتغير دائماً فى دورانها حول الشمس .
وقد ظهر فضلاً عن ذلك - أن هذه الصفة لا تقتصر على الأرض وحدها ، ولكنها
تنطبق على الأجسام جميعاً : فإذا أرسلت إشارة ضوئية من جسم ما فإن هذا الجسم
سيبقى فى مركز الموجات أثناء انتقالها الى الخارج بغض النظر عن كيفية تحركها -
وعلى الأقل فإن هذا سيكون رأى المشاهدين الذين يتحركون مع الجسم وهذا
هو المعنى الواضح الطبيعى لتلك التجارب ، وقد نجح أينشتين فى اختراع نظرية تقبل
هذه التجارب ، بيد أن العلماء كانوا يعتقدون - فى البداية - أن قبول هذا المعنى
الواضح الطبيعى مستحيل منطقياً .

وستوضح بعض الأمثلة القليلة مدى ما تنطوى عليه هذه الحقائق من غرابة .
حين تطلق قذيفة ، فإنها تتحرك حركة أسرع من الصوت ، ويرى الناس الذين
أطلقت عليهم القذيفة الومضة أولاً ثم يرون بعد ذلك (إذا كانوا محظوظين) القذيفة
وهى تنطلق . ويسمعون صوتها فى نهاية الأمر ، ومن الجلى أنه لو وضعت مشاهداً علياً
على القذيفة فإنه لن يسمع الصوت مطلقاً لأن القذيفة سوف تنفجر وتقتله قبل أن
يصل إليه صوتها . ولكن إذا كان الصوت يسير على نفس المبدأ الذى يتبعه الضوء
فإن مشاهدنا سوف يسمع كل شئ وكأنه ثابت لم يتحرك من مكانه . وفى هذه
الحالة لو ربط ستار - صالح لإحداث الأصداء - بالقذيفة منتقلاً معها - وليكن
ذلك بمائة ياردة أمامها - فإن مشاهدنا سوف يسمع صدى الصوت من الستار
بعد فترة الزمن نفسها وكأنه هو والقذيفة ثابتان فى مكانهما . وهذه بلا شك
تجربة ليس من الممكن إجراؤها ، غير أن بعض التجارب التى يمكن إجراؤها ستوضح
الفرق . قد تجد مكاناً على خط حديدى حيث يوجد صدى منبعث من مكان بعيد

على هذا الخط وليكن مكانا يخترق فيه الخط الحديدي نفقا - وحين يسير قطار على الخط دع رجلا على الرصيف يطلق مسدساً . فإذا كان القطار يسير صوب الصدى فسوف يسمع الركاب الصدى بأسرع ما يسمعه الرجل الموجود على الرصيف . وإذا كان القطار يسير في الاتجاه المضاد فسوف يسمعون بعد ذلك . بيد أن هذه ليست هي الظروف التي أجريت فيها تجربة ميكسون - مورلي تماماً . فالمرآيا في هذه التجربة تناظر الصدى ، ولكن المرآيا تتحرك مع الأرض وهكذا كان ينبغي أن يتحرك الصدى مع القطار . فلنفترض أن الطلقة أطلقت من عربة الحارس وأن الصدى يأتي من مستار على القاطرة ، وسنفترض أن المسافة بين عربة الحارس والقاطرة هي المسافة التي يمكن أن يقطعها الصوت في الثانية (حوالى خمس ميل) وأن سرعة القطار هي $\frac{1}{4}$ من سرعة الصوت (حوالى ستين ميلا في الساعة) . وهكذا تكون لدينا الآن تجربة يمكن أن يجريها ركاب القطار ، فإذا كان القطار ثابتاً ، فسيسمع الحارس الصدى في ثانيتين ، أما إذا كان متحركاً - وفقاً لما افترضت - فسوف يسمع الصدى في ثانيتين و $\frac{1}{4}$ من الثانية . فإذا كان يعرف سرعة الصوت ، فإنه يستطيع من هذا الفرق أن يحسب سرعة القطار حتى ولو كان ذلك في ليلة يسودها الضباب بحيث لا يستطيع أن يرى الجانبين . ولكن إذا كان الصوت يسلك مسلك الضوء فإنه سوف يسمع الصدى في ثانيتين أيضاً كانت السرعة التي يسير بها القطار . وسوف تساعدنا أمثلة أخرى على أن تبين من وجهة نظر التقاليد والقطرة السليمة - مدى خروج الوقائع الخاصة بسرعة الضوء عن المألوف . فكل منا يعرف أنك لو كنت في دسليم صاعد ، فإنك سوف تصل إلى القمة لو أنك مشيت أسرع مما لو وقفت بلا حراك . ولكن إذا كان السلم الصاعد يتحرك بسرعة الضوء (وهذا ما لا يفعله حتى في نيويورك) فإنك ستصل إلى القمة في نفس اللحظة سواء مشيت أم بقيت ساكناً . وإليك مثلاً آخر : لو أنك كنت سائراً في طريق بسرعة أربعة أميال في الساعة . وعبرت بك سيارة في نفس الاتجاه بسرعة أربعين ميلا في الساعة وإذا مضيت أنت والسيارة في المسير ، فإن المسافة بينك وبينها ستكون بعد ساعة ستة وثلاثين ميلا . ولكن إذا التقت بك السيارة ، لأنها تسير في الاتجاه المضاد ، فإن المسافة بينكما ستكون بعد ساعة أربعة وأربعين ميلا . والآن ، إذا كانت السيارة تسير بسرعة الضوء ، فلن يكون ثمة خلاف سواء التقت بك أم تجاوزتك ، ففي

كلتا الحالتين ، ستكون بعد ثانية واحدة ، على بعد ١٨٦٠٠٠ ميل منك ، بل إنها ستكون أيضا على بعد ١٨٦٠٠٠ ميل من أية سيارة تصادف أنها تجاوزتك أو التقت بك بسرعة أقل في الثانية السابقة . وهذا يبدو محالا ، إذ كيف تكون السيارة على نفس المسافة بالنسبة لعدد من النقاط المختلفة الواقعة على طول الطريق ؟

فلنأخذ مثلاً آخر ، حين تلمس ذبابة سطح بركة راكدة ، فإنها تحدث موجات تتحرك إلى الخارج في دوائر تتسع شيئاً فشيئاً . ومركز الدائرة في أية لحظة هو النقطة التي لمستها الذبابة من البركة . وإذا تحركت الذبابة فوق سطح البركة ، فإنها لن تبقى في مركز الموجات . ولكن إذا كانت هذه الموجات هي موجات الضوء وكانت الذبابة عالماً فيزيائياً محنكاً ، فسوف تجد أنها باقية دائماً في مركز الموجات أيا كانت حركتها . وفي الوقت نفسه ، سوف يحكم الفيزيائي المحنك الذي يجلس إلى جانب البركة - سيحكم - كما هو الحال في الموجات العادية - بأن المركز لم يكن الذبابة ، بل نقطة البركة التي لمستها الذبابة . وإذا لمست ذبابة أخرى سطح الماء في نفس النقطة وفي نفس اللحظة ، فستجد أنها باقية في مركز الموجات ، حتى ولو فصلت نفسها بعيداً عن الذبابة الأولى . وهذا يماثل تجربة ميكلسون - مورلي ، مماثلة تامة ، فالبركة تناظر الاثير ، والذبابة تناظر الأرض ، واتصال الذبابة بالبركة يناظر الإشارة الضوئية التي بعث بها ميكلسون ومورلي ، كما تناظر الموجات المائية موجات الضوء .

وقد تبدو هذه الحالة مستحيلة للوهلة الأولى . فليس غريباً أنه على الرغم من أن تجربة ميكلسون - مورلي قد أجريت عام ١٨٨١ فإنها لم تفسر تفسيراً صحيحاً إلا عام ١٩٠٥ . دعنا نرى الآن ما قصده بما قلناه تماماً . خذ الرجل السائر في الطريق الذي عبرت به السيارة . واقترض أن هناك عدداً من الناس في نفس النقطة من الطريق ، بعضهم يمشى وبعضهم الآخر يستقل سيارة ، واقترض أنهم يسرون بسرعات متباينة ، وفي اتجاهات مختلفة . أقول إنه لو أرسلت في هذه اللحظة ومضة ضوئية من المكان الذي يوجدون فيه جميعاً ، فإن الموجات الضوئية ستكون على بعد ١٨٦٠٠٠ ميل من كل منهما بعد مرور ثانية واحدة من ساعته

على الرغم من أن المسافرين لن يكونوا جميعاً حينذاك في مكان واحد بعينه .
وفي نهاية ثانية واحدة - بساعتك - ستكون على بعد ١٨٦٠٠٠ ميل منك ، كما
ستكون على بعد ١٨٦٠٠٠ ميل من الشخص الذى التقى بك حين أرسلت الومضة
والكنه كن يتحرك فى الاتجاه المضاد بعد ثانية واحدة من ساعته - مفترضين أن
الساعتين مضبوطتان . فكيف يمكن أن يحدث ذلك ؟

ثمة طريقة واحدة فحسب لتفسير مثل هذه الوقائع ، وهذه الطريقة هى أن
نفترض أن ساعات الجيب وساعات الحائط تتأثر بالحركة . ولا أعنى بذلك أنها
تتأثر بطرائق يمكن علاجها بمزيد من الدقة فى التركيب ، بل أعنى شيئاً آخر أكثر
جوهرية . وإنما أعنى أنك حين تقول إن ساعة قد انقضت بين حادثتين ، وحين
تؤسس تأكيذك هذا على قياسات مثالية دقيقة قامت بها كرونومترات مثالية فى
دقتها ، فإن شخصاً يماثلك فى الدقة ، كان يتحرك بسرعة نسبية بالنسبة لك ، قد
يحكم بأن الزمن كان أكثر أو أقل من ساعة . فى هذه الحالة لن نستطيع أن نقول
إن شخصاً منكاً على صواب ، والآخر مخطئ ، كما أنك لا تستطيع أن تفعل ذلك
إذا استخدم أحدهما ساعة مضبوطة على وقت جرينتش واستخدم الآخر ساعة
مضبوطة على وقت نيويورك . أما كيف يحدث ذلك ، فهذا ما سأشرحه فى
الفصل التالى .

وهناك أشياء أخرى عجيبة تتعلق بسرعة الضوء . ومن هذه العجائب أنه
ما من جسم مادي يمكن أن يتحرك أبداً بسرعة الضوء . أيا كانت القوة التى
تدفعه ، وأيا كان طول الزمن الذى يمكن أن تؤثر به هذه القوة . وربما أعاننا
مثل على توضيح ذلك . يرى المرء أحياناً فى المعارض مجموعة من الأرصفة
المتحركة ، تدور وتدور فى دائرة ، الرصيف الخارجى يدور بسرعة أربعة أميال
فى الساعة ، والرصيف الذى يليه يدور بسرعة تزيد أربعة أميال عن سرعة الأول
وهلم جرا . وتستطيع أن تخطو من واحد إلى الآخر حتى تجد نفسك تدور بسرعة
هائلة . والآن ، ربما اعتقدت أنه ما دام الرصيف الأول يقطع أربعة أميال فى
الساعة ، وأن الثانى يتحرك بسرعة تزيد أربعة أميال على سرعة الأول . فهذا معناه أن
الرصيف الثانى يقطع ثمانية أميال بالنسبة للأرض . وهذا خطأ . ذلك أن

الرصيف الثانى تقل سرعته قليلا عن ذلك ، بحيث لا تستطيع أدق القياسات أن تكتشف الفرق . وأريد أن أوضح ما أعنيه توضيحاً تاماً . وسأفترض أننا فى الصباح والجهاز على أهبة العمل ، وهناك ثلاثة رجال يقفون فى صف واحد وكل منهم يحمل كرونومتراً دقيقاً ، الأول على الأرض ، والثانى على الرصيف الأول ، والثالث على الرصيف الثانى . ويتحرك الرصيف الأول بسرعة أربعة أميال فى الساعة بالنسبة للأرض . وأربعة أميال فى الساعة معناها ٣٥٢ قدماً فى الدقيقة ، ويحدد للرجل الواقف على الأرض بعد دقيقة من ساعته المكان المقابل على الأرض للرجل الموجود على الرصيف الأول ، وهذا الرجل يقف ساكناً بينما كان الرصيف يدور به . وقيس الرجل الواقف على الأرض المسافة على الأرض من المكان الذى يقف فيه إلى النقطة المقابلة للرجل على الرصيف الأول فيجدها ٣٥٢ قدماً ، ويسجل الرجل الواقف على الرصيف الأول - بعد مرور دقيقة من ساعته ، النقطة المقابلة على رصيفه للرجل الموجود على الرصيف الثانى ، وقيس الرجل الواقف على الرصيف الأول المسافة بينه وبين النقطة المقابلة للرجل الواقف على الرصيف الثانى ، فيجد أنها ٣٥٢ قدماً مرة أخرى . مشكلة : إلى أى مدى يمكن أن يحدد الرجل الواقف على الأرض المسافة التى قطعها الرجل الواقف على الرصيف الثانى فى دقيقة واحدة ؟ أعنى ، لو أن الرجل الواقف على الأرض حدد بعد دقيقة واحدة من ساعته - المكان المقابل على الأرض للرجل الموجود على الرصيف الثانى ، فما بعد هذه النقطة عن الرجل الواقف على الأرض ؟ ستقول إنها ضعف ٣٥٢ قدماً ، أى ٧٠٤ قدماً ، ولكنها ستكون فى الحقيقة أقل قليلاً ، وإن تكن من القلة القليلة بحيث لا يكون ثمة سبيل إلى تقديرها . وهذا الاختلاف راجع إلى أن الساعتين لا تحافظان على الوقت المضبوط . على الرغم من أن كلتيهما دقيقة من وجهة نظر صاحبها . فإذا كانت لديك مجموعة طويلة من هذه الأرصفة المتحركة ، وكل منها يتحرك أربعة أميال فى الساعة بالنسبة للرصيف الذى قبله ، فإنك لن تصل أبداً إلى النقطة التى يتحرك فيها الرصيف الأخير بسرعة الضوء بالنسبة للأرض ، حتى ولو كان لديك ملايين منها . وهذا الفرق الضئيل . بالنسبة للسرعات الصغيرة ، يتضخم مع تزايد السرعة ، ويجعل سرعة الضوء حداً لا سبيل إلى الوصول إليه . أما كيف يحدث هذا كله ، فهو الموضوع التالى الذى ينبغى أن نتناوله .

الفصل الرابع

الساعات والمساطر

لم يفكر أحد — قبل ظهور النسبية الخاصة — في أنه من الممكن أن يوجد أى ابس في العبارة القائلة بأن حادثتين في مكانين مختلفين قد حدثتا في وقت واحد. وقد يقبل المرء أنه إذا كان المكانان بعيدين جداً ، فقد تكون ثمة صعوبة في التيقن من أن الحادثتين قد وقعتا في زمن واحد معاً ، بيد أن كل إنسان كان يعتقد أن معنى المسألة محدد تماماً . وأيا كان الأمر ، فقد ظهر فيما بعد أن هذا الاعتقاد خاطيء . فقد تبدو حادثتان في مكانين متباعدين على أنهما حدثتا في وقت معا بالنسبة لمشاهد واحد اتخذ جميع الاحتياطات اللازمة ليضمن الدقة (واضعاً في اعتباره — على وجه الخصوص — سرعة الضوء) ، بينما قد يقدر مشاهد آخر لا يقل عن الأول في دقته أن الحادثة الأولى قد سبقت الثانية ، وقد يحكم ثالث بأن الحادثة الثانية سبقت الأولى وقد يحدث هذا إذا كان المشاهدون الثلاثة يتحركون بسرعة : الواحد بالنسبة للآخرين . ولن يكون أحدهما — في هذه الحالة — مصيباً والاثنان الآخران مخطئين ، بل سيكون الثلاثة جميعاً مصيبين . والنظام الزمني الذي وقعت الحوادث وفقاً له يتوقف إلى حد ما على المشاهد . فهو ليس دائماً وبأكمله علاقة باطنية بين الحوادث نفسها . وقد أثبت أينشتاين أن هذا الرأي لا يفسر الظواهر فحسب ، بل إنه هو أيضاً الرأي الذي ينبغى أن ينتج عن التفكير المنطقي الدقيق المؤسس على المعطيات القديمة . ومهما يكن من أمر ، ففي الواقع الفعلي ، لم يلحظ أحد الأساس المنطقي لنظرية النسبية حتى أحدثت النتائج الغريبة للتجربة صدمة للملكات الناس المفسكرة .

كيف نقرر — تقريراً طبيعياً — أن حادثتين في مكانين مختلفين — وقعتا في وقت واحد ؟ من الطبيعي أن يقول المرء : إنهما وقعتا في وقت واحد إذا شاهدهما شخص في منتصف المسافة بينهما — تقعان في وقت واحد (لاصعوبة

في آنية حادثتين وقعتا في مكان واحد ، مثل رؤية ضوء وسماع صوت .
فلنفترض أن ومضتين من الضوء وقعتا في مكانين مختلفين : وليكن هذان المكانان
هما مرصد جرينتش ، ومرصد كيو ، وانفترض أن كنيسة القديس بولس في
منتصف المسافة بينهما ، وأن الومضتين تظهران في وقت واحد لمشاهد يقف على
قبة كنيسة القديس بولس . في هذه الحالة ، سوف يرى الرجل الواقف عند
مرصد كيو الومضة الواقعة عند مرصده ، كما سيراى الرجل الواقف عند جرينتش
الومضة الساقطة على جرينتش أولاً وذلك بسبب الوقت الذي يستغرقه الضوء في
الانتقال إلى المسافة القائمة بينهما . بيد أن الثلاثة — لو كانوا مشاهدين مثاليين
في دقتهم — سيحكمون بأن الومضتين قد حدثتا في وقت واحد معاً ، لأنهم
سوف يدخلون في اعتبارهم بالضرورة زمن إرسال الضوء (إننى أفترض درجة
من الدقة تتجاوز القدرة الإنسانية) . وهكذا ، مادام الأمر يتعلق بمشاهدين على
الأرض ، فإن تعريف الآنية سيظل صحيحاً ، وما دما تتعامل على حوادث تقع
على سطح الأرض ، فهو يعطى نتائج متسقة بعضها مع البعض الآخر ، ويمكن
استخدامها في الفزياء الأرضية بالنسبة لسكل المشكلات التي يمكن أن تتجاهل
فيها هذه الحقيقة ، وهى أن الأرض تدور .

بيد أن تعريفنا لن يكون مرضياً حين يكون لدينا مجموعتان من المشاهدين في
حركة سريعة إحداها بالنسبة الأخرى . فلنفترض أننا نرى ما يمكن أن يحدث
إذا استبدلنا الصوت بالضوء ، وعرفنا حادثتين بأنهما تقعان في آن واحد إذا
استمع إليهما — في وقت واحد — شخص في منتصف المسافة بينهما .. لن يغير
هذا شيئاً من حيث المبدأ ولكنه يجعل المسألة أيسر نظراً لسهولة الصوت التي هى أبطأ
كثيراً من سرعة الضوء . ودعنا نفترض أنه في ليلة ضبابية أطلق رجلان ينتميان
إلى عصابة من قطاع الطرق — النار على الحارس وعلى سائق القاطرة في قطار ما :
الحارس موجود في مؤخرة القطار واللصان على الخط الحديدى وهما يطلقان النار
على ضحيتهما من مكان قريب . سوف يسمع سيد عجوز يركب في منتصف
القطار الطلقتين في وقت واحد ، سيقول حينئذ إن الطلقتين حدثتا في وقت واحد
معاً . غير أن ناظر المحطة الذى يوجد في منتصف المسافة بين اللصين يسمع الطلقة

التي قتلت الحارس أولاً . وقد ترك مليونير استرالي هو عم الحارس وسائق القاطرة (وهما أولاد عمومة) ثروته كلها للحارس أو لسائق القاطرة — إذا كان هو الذي مات أولاً . وتدخل في المسألة مبالغ ضخمة تتوقف على تحديد من منهما الذي مات أولاً . وتذهب القضية إلى مجلس اللوردات ويتفق المحامون من كلا الطرفين لأنهم تعلموا في أكسفورد على أنه إما أن يكون السيد العجوز راكباً القطار وإما أن ناظر المحطة مخطيء . والواقع أن كليهما قد يكون على صواب تماماً — فاقطار قد تحرك مبتعداً عن الطلقة التي أطلقت على الحارس وهو متجه صوب الطلقة التي أطلقت على سائق القاطرة ، ومن ثم فإن الضجة التي أحدثتها الطلقة التي أطلقت على الحارس ينبغي أن تسمى قبل أن تصل إلى السيد العجوز إلى أبعد من الطلقة التي أطلقت على سائق القاطرة . وبالتالي فإذا كان السيد العجوز مصيباً في قوله إنه سمع الصوتين في وقت واحد فلا بد أن ناظر المحطة مصيب في قوله إنه سمع الطلقة التي أطلقت على الحارس أولاً .

ونحن الذين نعيش على الأرض نفضل طبعاً في مثل هذه الحالة وجهة النظر الآنية التي يحصل عليها شخص ثابت على الأرض على نظرة شخص مسافر بالقطار . بيد أن الفزياء النظرية لا تسمح بمثل هذه التحيزات الضيقة الأفق . وللفيزيائي الموجود ، على سطح شهاب — إذا وجد — من الحق في رأيه الخاص بالآنية ما للفيزيائي الموجود على الأرض . بيد أن النتائج قد تختلف بنفس الطريقة التي اختلفت به في مثلنا الذي أوردناه عن القطار والطلقات ، فليس التطار بأكثر حقيقة في حركته من الأرض ، بل ليس هناك شيء حقيقي عنه . وبممكنك أن تتخيل أرنبا وسيد قشطة يتجادلان عما إذا كان الإنسان حيواناً ضخماً ، حقاً ، ؛ فإن كلا منهما سيعتقد أن وجهة نظره هي وجهة النظر الطبيعية ، وأن وجهة نظر الآخر مجرد تخليق في الخيال . وينطوي الجدل عما إذا كانت الأرض أو القطار في حركة حقاً ، على نفس هذا القدر من التهاافت . ومن ثم فإننا حين نعرف الآنية بين حادثتين متباعدتين ، فليس لنا الحق في أن نلتقط وأن نختار من بين الأجسام المختلفة المستخدمة في تحديد نقطة منتصف الطريق بين الحادثتين . فلكل الأجسام حق متساو في أن يقع عليها الاختيار ، ولكن إذا كانت الحادثتان قد وقعتا معاً في آن واحد بالنسبة لجسم واحد وفقاً للتعريف ، فستكون هناك أجسام أخرى

تسبق الحادثة الأولى الحادثة الثانية بالنسبة إليها، وأجسام أخرى أيضاً تسبق الحادثة الثانية الحادثة الأولى بالنسبة إليها، وهكذا لا نستطيع أن نقول دون لبس إن حادثتين في مكانين متباعدين قد وقعتا في نفس الوقت . فإن مثل هذه العبارة لا تكتسب معنى محدداً إلا بالنسبة لمشاهد محدد . فهي تنتمي إلى الشطر الذاتي من ملاحظتنا للظواهر الفيزيائية ، لا إلى الشطر الموضوعي الذي يدخل في القوانين الفيزيائية . ولعل هذه المسألة التي تتعلق بالزمان في أماكن مختلفة هي أصعب الجوانب بالنسبة للخيال — في نظرية النسبية ، فنحن قد تعودنا على فكرة أن كل شيء يمكن تأريخه . وقد استغل المؤرخون واقعة حدوث كسوف ظاهر للشمس في الصين في ٢٩ أغسطس سنة ٧٧٦ قبل مولد المسيح^(١) . وليس من شك في أن الفلكيين يستطيعون أن يحددوا الساعة والدقيقة المضبوطتين اللتين بدأ فيهما الكسوف في أن يكون كلياً في أية بقعة محددة من شمال الصين ، كما يبدو من الجلي أننا نستطيع ان نتحدث عن مواقع الكواكب في أى لحظة . وتمكننا نظرية نيوتن من أن نحسب المسافة بين الأرض والمشتري مثلاً في أى وقت بساعات جرينتش ، وهذا يمكننا من أن نعرف الوقت الذي يقطعه الضوء في ذلك الحين للانتقال من المشتري إلى الأرض ، وليكن نصف ساعة ، وهذا يمكننا من استنتاج أن المشتري كان منذ نصف ساعة في المكان الذي نراه فيه الآن . كل هذا يبدو جلياً . ولكن في الواقع لا يصدق في التطبيق إلا لأن سرعات الكواكب النسبية ضئيلة جداً إذا قيسَت بسرعة الضوء . وحين نقرر أن حادثة على الأرض وحادثة على المشتري قد وقعتا في وقت واحد — مثل أن يكون المشتري قد كسف واحداً من أقماره حين كانت ساعات جرينتش تشير إلى منتصف الليل — فإن شخصاً آخر يتحرك بالنسبة للأرض ، سيقدر شيئاً مختلفاً ، على افتراض أن كلامنا — نحن وهو — قد وضع في اعتبارنا سرعة الضوء . ومن الطبيعي أن الخلاف على الآنية يستتبع خلافاً على فترات الزمن . فإذا قررنا أن حادثتين وقعتا على المشتري ينفصلان بأربعة وعشرين ساعة ، فقد يحكم شخص آخر أن الزمن الذي يفصل بينهما كان أطول ، هذا إذا كان يتحرك بسرعة أكبر بالنسبة للمشتري وبالنسبة للأرض .

(١) يقول نسيب صيني معاصر لهذا الكسوف ، بعد أن حدد اليوم من السنة بالضبط : «أما أن ينكسف القمر ، فهذه مسألة عادية . والآن وقد انكسفت الشمس ، فياله من أمر سيبىء» (رسل).

وهكذا لم يعد الزمن الكوني الكلى الذى درجنا على أن نأخذه بلا مناقشة أمراً مسموحاً به فلكل جسم ، نظام زمنى محدد للحوادث التى تقع فى جيرته ، ومن الممكن أن يسمى هذا الزمان « الخاص » بهذا الجسم . وتجربتنا محكومة بالزمن الخاص لجسمنا . ولما كنا جميعاً ثابتين تقريباً على الأرض ، فإن الأزمان الخاصة بالكائنات البشرية المختلفة تتفق ، ومن الممكن جمعها معاً فى الزمان الأرضى . بيد أن هذا هو الزمان الوحيد المناسب للأجسام « الضخمة » على الأرض . فالأمر يحتاج بالنسبة لجسيمات بيتا (الإلكترونات) فى المعامل إلى أزمنة مختلفة تمام الاختلاف ، ولأننا نصر على استخدام زماننا الخاص ، تبدو لنا هذه الجسيمات وقد ازدادت كتلتها مع الحركة السريعة . والواقع أن كتلتها — من وجهة نظرها الخاصة — تظل ثابتة ، بينما نحن الذين نصير فجأة نحافاً أو ضخاماً . وتاريخ الفزياء كما يشاهده جسم من جسيمات بيتا — أشبه برحلات جليشر .

ويثار الآن هذا السؤال : ما الذى تقيسه الساعة حقاً ؟ حين نتحدث عن ساعة فى نظرية النسبية لا تقصد الساعات التى صنعتها الأيدي الإنسانية ، وإنما نعنى أى شىء يودى عملاً دورياً منتظماً . الأرض ساعة لأنها تدور مرة واحدة كل ثلاثة وعشرين ساعة وست وخمسين دقيقة . والنرة ساعة ، لأنها ترسل موجات ضوئية ذات ذبذبات محددة ، وهذه الموجات مرئية على صورة خطوط لامعة فى طيف النرة . والعالم ملىء بالحوادث الدورية ، والآليات الأساسية كالذرات ، تبين تماثلاً قذاً فى أجزاء الكون المختلفة . ويمكن استخدام أى حادث من هذه الحوادث الدورية لقياس الزمن ، والميزة الوحيدة التى تتمتع بها الساعات المصنوعة بأيدٍ إنسانية هى أنها من السهل مشاهدتها — على وجه الخصوص . ومع ذلك ، فإن بعض الساعات الأخرى أدق كثيراً . ونستخدم فى هذه الأيام الموجات اللاسلكية القصيرة المرسله تحت ظروف معينة بوساطة ذرات السيزيوم وجزئيات الأمونيا (النوشادر) — لإرساء معايير من قياس الزمن أشد تجانساً من المقاييس المؤسسة على دوران الأرض . بيد أن السؤال يظل قائماً : إذا تخلينا عن الزمان الكونى ، فما هذا الذى يقاس حقيقة بوساطة « ساعة » بالمعنى الواسع الذى أعطيناه هذه الكلمة ؟

كل ساعة تعطى قياساً مضبوطاً لزمانها الخاص ، وهذا الزمان كما سنرى فوراً عبارة عن كمية فيزيائية هامة . ولكنها لا تعطى قياساً دقيقاً لأية كمية فيزيائية مرتبطة بالحوادث التي تجرى على أجسام تتحرك حركة سريعة بالنسبة إليها . إنها تعطى معطية واحدة صوب اكتشاف كمية فيزيائية مرتبطة بتلك الحوادث ، ولكننا نحتاج إلى معطية أخرى ، وهذه لابد من استخلاصها من قياس المسافات في الفضاء . والمسافات في الفضاء — شأنها في ذلك شأن فترات الزمان — ليست وقائع فيزيائية موضوعية — بوجه عام ، ولكنها تتوقف إلى حد ما على المشاهد . أما كيف يحدث هذا ، فأمر ينبغي شرحه الآن .

ينبغي علينا — أولاً — أن نفكر في المسافة القائمة بين حادثتين ، لا بين جسمين — وهذا يلزم على الفور بما قد وجدناه فيما يختص بالزمان . فلو أن جسمين يتحركان كل بالنسبة للآخر — وهذه هي الحالة دائماً حقاً — فإن المسافة بينهما ستتغير باستمرار ، بحيث إننا لا نستطيع أن نتحدث عن المسافة بينهما إلا في وقت معين . وإذا كنت في قطار مسافر صوب إدنبره ، فإننا نستطيع أن نتحدث عن المسافة بينك وبين إدنبره في وقت معين . غير أن المشاهدين المختلفين — كما قلنا آنفاً — سيحكمون حكماً مختلفاً فيما يتعلق بنفس الوقت لحادثة وقعت في القطار ، وحادثة وقعت في إدنبره . وهذا يجعل قياس المسافات نسبياً بنفس الطريقة التي وجدنا بها قياس الأزمان نسبياً . ونحن نعتقد عادة أن هناك نوعين منفصلين من الأبعاد بين حادثتين — بعد في المكان وبعد في الزمان : بين رحيلك عن لندن ووصولك إلى إدنبره هناك أربعائة ميل وعشر ساعات . وقد رأينا فيما سبق أن مشاهداً آخر سوف يحكم على الزمان بطريقة مختلفة ، وأوضح من ذلك أنه سيحكم على المسافة حكماً مختلفاً . وإذا وجد مشاهد على الشمس فسوف يعتقد أن حركة القطار تافهة غاية التفاهة ، وسيقرر أنك قد قطعت المسافة التي قطعتها الأرض في فلكها ودورانها اليومي . ومن وجهة أخرى ، فإن برغوثاً في عربة القطار سيحكم بأنك لم تتحرك على الإطلاق في المكان وإنما سيحكم بأنك قد أتممت له فترة من اللذة سيقيسها بزمته الخاص ، لا بمرصد جريتش . ولا يمكن أن يقال إنك وسباكن الشمس أو البرغوث مخطئون : فكل منكم ما يبرر حكمه ، ولكنه يكون مخطئاً ، إذا ما أضفى على مقاييسه الذاتية ضجة موضوعية . وعلى هذا ،

ليست المسافة في المكان بين حادثتين حقيقة فيزيائية في ذاتها . ولكن هناك — كما سنرى فيما بعد — حقيقة فيزيائية يمكن استنباطها من المسافة في الزمان مع المسافة في المكان . وهذا ما يسمى « فاصلاً » في المكان — الزمان .

وإذا أخذنا أية حادثتين في الكون ، وجدنا أن هناك إمكانييتين مختلفتين بالنسبة للعلاقة بينهما . فقد يكون من الممكن فيزيائياً لجسم ما أن يتحرك بحيث يكون حاضراً بالنسبة للحادثتين ، أو قد لا يكون حاضراً بالنسبة إليهما . وهذا يتوقف على حقيقة أنه لا وجود لجسم يمكن أن يتحرك بسرعة الضوء . فلنفترض مثلاً أنه من الممكن إرسال ومضة من الضوء من الأرض ، وارتدت ثانية بعد أن عكسها القمر . (هذه تجربة أجريت فعلاً ، ولكن بموجات الرادار التي تتحرك بالسرعة نفسها) فالزمن الذي ينقضي بين إرسال الومضة وعودتها الانعكاس سيكون حوالى ثائنتين ونصف . ولهذا لا يستطيع جسم ما أن يتحرك بسرعة بحيث يكون حاضراً على الأرض خلال أى جزء من هاتين الثائنتين والنصف ، وأن يكون موجوداً على القمر في لحظة وصول الومضة ، لأنه لكي يفعل ذلك فلا بد أن يتحرك الجسم بسرعة أكبر من سرعة الضوء . ولكن من الممكن — نظرياً — أن يوجد جسم على الأرض في أية لحظة قبل أو بعد هاتين الثائتين والنصف وأن يكون حاضراً أيضاً على القمر في اللحظة التي وصلت فيها الومضة . وحين يكون من المحال فيزيائياً أن يتحرك جسم ما بحيث يكون حاضراً في الحادثتين ، فإننا سنقول إن الفاصل^(١) بين الحادثتين « مكاني » وحين يكون من الممكن فيزيائياً أن يحضر جسم ما الحادثتين معاً ، فنقول إن الفاصل بين الحادثتين « زماني » وحين يكون الفاصل مكانياً ، فإنه من الممكن لجسم ما أن يتحرك بطريقة تسمح لمشاهد موجود فوق الجسم أن يقرر أن الحادثتين وقعتا في وقت واحد معاً . وفي هذه الحالة ، سيكون الفاصل بين الحادثتين هو ما يحكم مثل هذا المشاهد بأنه بالمسافة في المكان بينهما . وحين يكون الفاصل « زمانياً » فإنه من الممكن لجسم ما أن يكون حاضراً بالنسبة للحادثتين معاً ، وفي هذه الحالة يكون « الفاصل » بين الحادثتين هو ما يحكم المشاهد الموجود فوق الجسم بأنه الزمن المنقضي بينهما ، أعني ، أنه زمانه

(١) سأضع تعريفاً للكلمة « فاصل » interval بعد لحظة (رسل) .

« الخاص » بين الحادثتين . وثمة حالة حادثة بين الحادثتين ، حين تكونان جزءين من ومضة ضوء واحدة ، أو إن صح هذا التعبير — حين تكون إحداها المشاهدة للآخرى . وفي هذه الحالة يكون الفاصل بين الحادثتين صفراً .

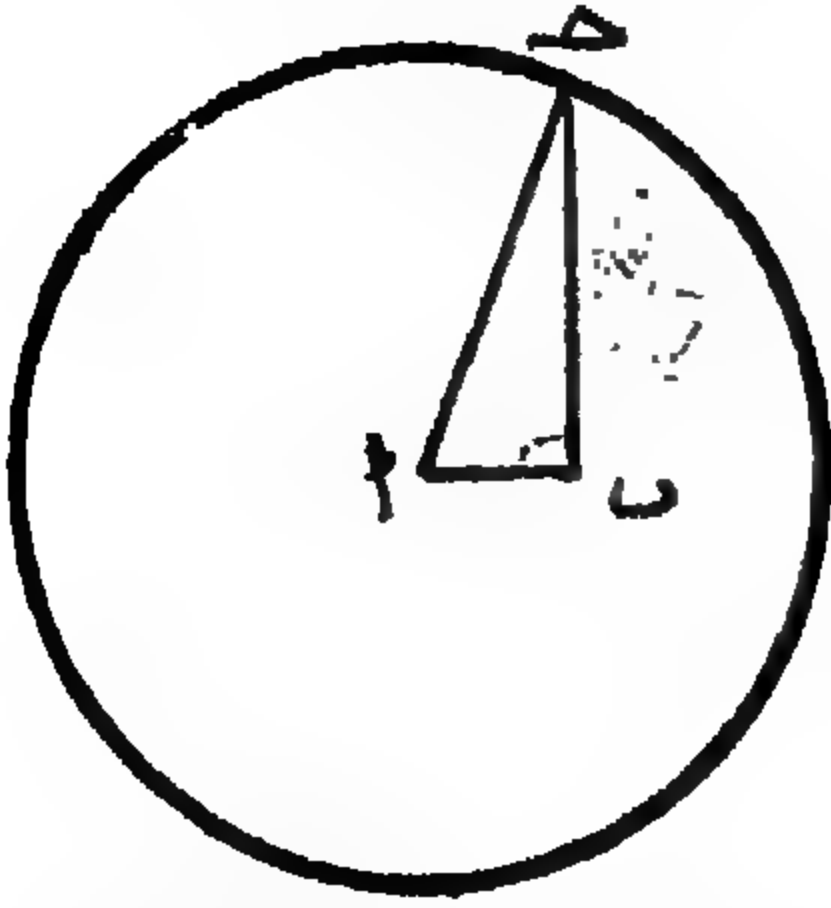
هناك إذن ثلاث حالات : (١) قد يكون من الممكن إشعاع من الضوء أن يكون حاضراً في الحادثتين ، وهذا يحدث حينما كان أحدهما مشاهداً للآخر . وفي هذه الحالة يكون الفاصل بين الحادثتين صفراً . (٢) قد يحدث ألا يستطيع جسم ما أن يتحرك من حادثة إلى أخرى ، لأنه لكي يفعل ذلك ، لابد من أن يتحرك بسرعة أكبر من سرعة الضوء . وفي هذه الحالة ، يكون من الممكن دائماً من الوجهة الفيزيائية أن يتحرك جسم ما بطريقة تسمح لمشاهد على هذا الجسم أن يحكم بأنه المسافة في المكان بين الحادثتين . مثل هذا الفاصل نسميه « مكانياً » (٣) قد يكون من الممكن فزيائياً لجسم ما أن يتحرك بحيث يكون حاضراً في الحادثتين ، وفي هذه الحالة سيكون الفاصل بينهما هو ما سيحكم به المشاهد الموجود فوق هذا الجسم على أنه الزمن المنقضى بينهما . مثل هذا الفاصل يسمى « زمانياً » .

والفاصل بين حادثتين حقيقة فزيائية عنهما ، ولا تتوقف على ظروف المشاهد الخاصة .

وهناك شكلان لنظرية النسبية ، الشكل الخاص . والشكل العام . والشكل الأخير هو بوجه عام تقريبي لحسب ، ولكنه يصبح قريباً جداً من الضبط في المسافات البعيدة عن المادة الجاذبة *gravitating matter* . وحيثما أمكن إهمال الجاذبية ، أصبح في الإمكان تطبيق النظرية الخاصة ، وبالتالي ، يمكن حساب الفاصل بين حادثتين حين نعرف المسافة في المكان والمسافة في الزمان بينهما ، وفقاً لتقدير أى مشاهد ، فإذا كانت المسافة في المكان أكبر من المسافة التي يمكن أن يقطعها الضوء في ذلك الوقت ، فإن الانفصال بينهما يكون « مكانياً » ويمكن لهذا التركيب . أن يعطينا « الفاصل » بين الحادثتين .

ارسم خطاً *اب* يكون طوله هو طول المسافة التي يمكن أن يقطعها الضوء في

الزمان ، واجعل ا مركزاً لدائرة نصف قطرها هو المسافة في المكان بين الحادثتين ،
ومن نقطة ب ارسم الخط ب ج عمودياً على
الخط ا ب بحيث يلتقي بالدائرة في ج فيكون
الخط د ب ج هو طول الفاصل بين الحادثتين .



و حين تكون المسافة «زمانية» ، استخدم
نفس هذا الشكل ، ولكن اجعل ا ج هو المسافة

التي يقطعها الضوء في الزمان على حين يكون ا ب هو المسافة في المكان بين الحادثتين .
فالفاصل بينهما هو الآن الزمن الذي يستغرقه الضوء ليقطع المسافة ب ج .

وعلى الرغم من أن « ا ب » و « ا ج » مختلفان بالنسبة لمشاهدين مختلفين فإن
« ب ج » هو الطول ذاته بالنسبة للمشاهدين جميعاً ، ولكنه قابل للتصحیحات
التي تقوم بها النظرية العامة . فهو يمثل الفاصل الوحيد في متصل المكان
— الزمان الذي يحل محل الفاصلين في المكان والزمان في الفزياء القديمة . وقد
تبدو فكرة « الفاصل » هذه غامضة إلى حد ما حتى الآن ، ولكن ، كلما تقدمنا —
بدت أقل غموضاً ، وسيظهر الداعي إليها في طبيعة الأشياء تدريجياً .

الفصل الخامس

المكان - زمان

كل من سمع بالنسبية يعرف هذه العبارة متصل «المكان - زمان» ، أو «الزمان» ، ويعرف أن الشيء الصحيح هو أن يستخدم هذه العبارة محل العبارة القديمة «المكان» و «الزمان» . بيد أن عدداً قليلاً من الناس الذين ليسوا من علماء الرياضة هم أولئك الذين لديهم فكرة واضحة عما يعنيه هذا التعبير في المصطلح . وقبل أن أتعرض لمزيد من التفاصيل عن نظرية النسبية الخاصة ، أريد أن أنقل إلى القارئ ما تعنيه هذه العبارة الجديدة متصل «المكان - زمان» ، لأنها ، ربما كانت من وجهة النظر الفلسفية والتخيلية - أهم الابتكارات التي جاء بها أينشتاين .

فلنفترض أنك تريد أن تقول أين وقعت حادثة معينة ، واتسكن انفجاراً على منطاد - فسوف تذكر أربعة مقادير ، هي خط الطول وخط العرض والارتفاع فوق سطح الأرض والزمان .. والمقادير الثلاثة الأولى - وفقاً للنظرية التقليدية - هي التي تحدد الوضع في المكان ، بينما المقدار الرابع هو الذي يعطى الوضع في الزمان . ويمكن تحديد المقادير الثلاثة التي تعطى الوضع في المكان بمختلف الطرق ، فمن الممكن مثلاً أن تأخذ مستوى خط الاستواء ، ومستوى خط الزوال في جرينتش ، ومستوى خط تسعين ، وتقول أين كان المنطاد من كل من هذه المستويات الثلاث وتكون هذه المسافات الثلاث هي ما تسمى «الإحداثيات الديكارتية» نسبة إلى ديكارت . كما يمكنك أن تأخذ أية ثلاثة مستويات متعامدة كل على الآخر ، فيكون لديك دائماً «الإحداثيات الديكارتية» . أو قد تستطيع أن تأخذ المسافة من لندن إلى أية نقطة رأسية تحت المنطاد ، واتجاه هذه المسافة (شمال شرق . أو غربي ، جنوب غربي أو أي شيء كان) وارتفاع المنطاد عن الأرض . فهناك عدد لا نهائي من مثل هذه الطرق لتحديد الوضع في المكان ، وكلها طرق مشروعة على حد سواء ، واختيار إحداها سيكون مجرد إيثار السهولة .

وحيث كان الناس يقولون إن للسكان ثلاثة أبعاد ، فقد كانوا يعنون هذا بالضبط : أن ثلاثة مقادير لازمة لتخصيص موقع نقطة ما في المكان ، أما المنهج الخاص بتحديد هذه المقادير فكان تحكيمياً تماماً .

أما فيما يتعلق بالزمان ، فقد كان من المعتقد أن هذه المسألة مختلفة تمام الاختلاف . ذلك أن العناصر التحكيمية الوحيدة في تسجيل قياس الزمان كانت هي الوحدة ، ونقطة الزمان التي بدأ منها التقدير : Reckoning ، فمن الممكن أن يقيس المرء بتوقيت باريس ، أو بتوقيت نيويورك ، وهذا موضع اختلاف بالنسبة لنقطة البداية . وكذلك يستطيع المرء أن يقيس الوقت بالثواني أو الدقائق أو الساعات أو الأيام أو الأعوام ، وهذا اختلاف في الوحدة . وهاتان مسألتان واضحتان وتافهتان في الوقت نفسه . فليس هناك ما يقابل حرية الاختيار في منهج تحديد الوضع في المكان . وكان من المعتقد — على وجه الخصوص — أن منهج تحديد الوضع في المكان ومنهج الوضع في الزمان — يمكن أن يكونا مستقلين أحدهما عن الآخر استقلالاً تاماً . ولهذا الأسباب كان الناس ينظرون إلى الزمان والمكان على أنهما متمايزان تمام التمايز .

وقامت نظرية النسبية بتغيير هذا الرأي . فثمة الآن عدد من الطرق المختلفة لتحديد الوضع في الزمان ، وهذه الطرق لا تختلف فيما بينها من حيث الوحدة ونقطة البداية لحسب . فالحق أنه — إذا كانت حادثة قد وقعت في نفس الوقت مع حادثة أخرى — كما سبق أن رأينا — في تقدير زمانى ما ، فإنها ستسبقها في تقدير آخر ، وستتبعها في تقدير ثالث . وفضلاً عن ذلك فإن تقديرات المكان والزمان لم تعد مستقلة الواحد عن الآخر . وإذا أنت غيرت طريقة تقدير الوضع في المكان ، فقد تستطيع أيضاً أن تغير الفترة الزمنية بين حادثتين . وإذا أنت غيرت طريقة تقدير الزمان ، فإنك تستطيع أيضاً أن تغير المسافة في المكان بين حادثتين . وهكذا لم يعد المكان والزمان مستقلين أحدهما عن الآخر ، شأنهما في ذلك شأن أبعاد المكان الثلاثة . ونحن ما نزال في حاجة إلى أربعة مقادير لتحديد وضع حادثة ما ، ولكننا لا نستطيع — كما كان الحال من قبل — أن نفصل واحداً من هذه المقادير الأربعة بوصفه مستقلاً تمام الاستقلال عن المقادير الثلاثة الأخرى .

ولم يعد من الصدق تماماً أن تقول إنه لم يعد تمييز بين الزمان والمكان .
فهناك كما رأينا فواصل « زمانية » و « فواصل » مكانية . بيد أن التمييز من نوع
يختلف عما افترضناه سابقاً . فلم يعد هناك وقت كلى universal يمكن تطبيقه
بلا لبس على أى جزء من أجزاء العالم ، وإنما توجد فحسب « أزمنة » خاصة
بمختلفة لأجسام متباينة في الكون ، ويتفق بالتقريب بالنسبة لجسمين لا يتحركان
حركة سريعة ، ولكنه لا يتفق بالضبط مطلقاً إلا بالنسبة لجسمين يكونان ساكنين
الواحد بالنسبة إلى الآخر .

وصورة العالم المطلوبة في مثل هذه الأحوال الجديدة هي كالآتي :

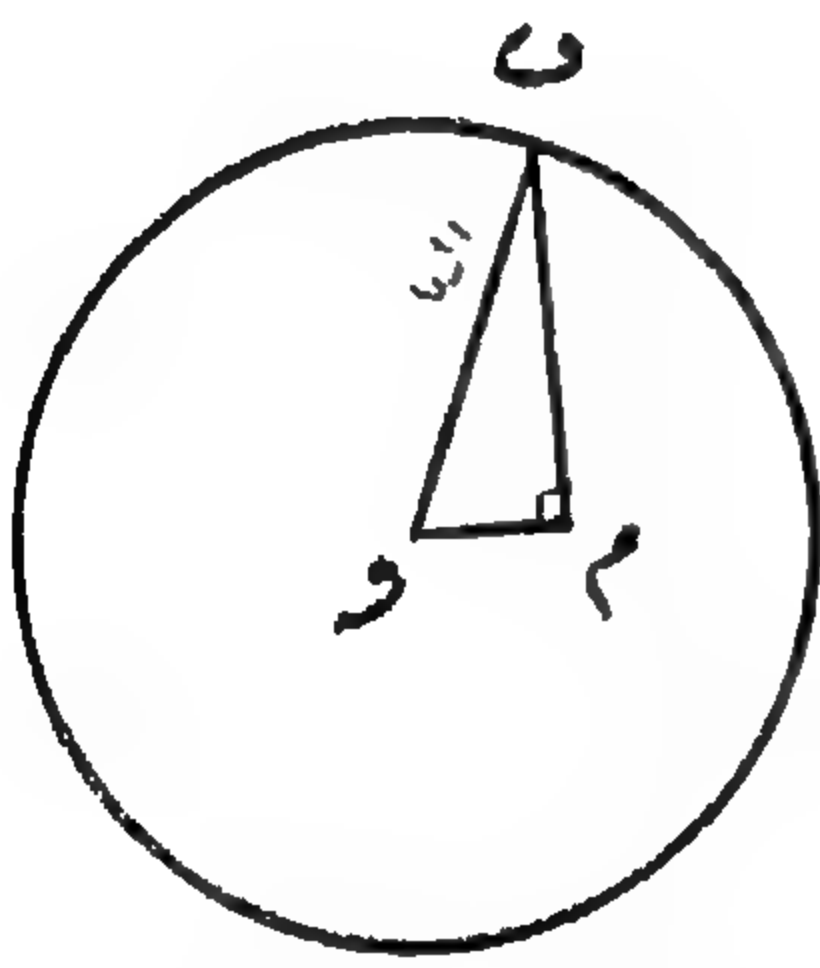
فلنفترض أن حادثة « د » قد وقعت لى ، وفي الوقت نفسه انبعثت منى ومضة من
الضوء في جميع الاتجاهات . فأى شيء يحدث لأى جسم بعد أن بلغه الضوء من
الومضة ، يكون بالتحديد بعد وقوع الحادث « د » في أى نظام لتقدير الوقت .
وأية حادثة وقعت في أى مكان وأستطيع أن أشاهدها قبل أن تقع لى الحادثة
« د » ، هي بالتحديد قد وقعت قبل الحادثة « د » في أى نظام لتسجيل الوقت .
بيد أن أية حادثة وقعت في الوقت المنقضى بينهما ليست بالتحديد قبل أو بعد الحادثة
« د » . ولكي تحدد المسألة : افترض أنني أستطيع أن أشاهد شخصاً في الشعري
اليمانية ، وأنه يستطيع أن يشاهدنى ، فكل ما يفعله ، وما أراه قبل أن تقع الحادثة
« د » لى ، هو بالتحديد قبل « د » . وكل ما يفعله بعد أن شاهد الحادثة « د » هو
بالتحديد بعد « د » . [غير أن كل ما يفعله يكون قبل أن يرى الحادثة « د » ، ولكننى
أراه أنا بعد أن وقعت الحادثة « د » ليس بالتحديد قبل أو بعد « د » ، وما دام
الضوء يستغرق سنين طويلة ليتنقل من الشعري اينية إلى الأرض ، فإن هذا
يعطى فترة من الأعوام ضعف الوقت في الشعري اينية يمكن أن نسميها « معاصرة »
للحادثة « د » ، مادامت هذه السنين ليست بالتحديد قبل أو بعد « د » .

ولقد اقترح الدكتور أ . أ . روب A. A. Robb في كتابه « نظرية المكان
والزمان » وجهة نظر ، قد تكون — وقد لا تكون — أساسية من الوجهة
الفلسفية ، ولكنها تساعد على أية حال — في فهم حالة الأشياء التي وصفناها آنفاً .
فقد ذهب إلى أنه من الممكن فحسب القول بأن حادثة ما قد وقعت بالتحديد « قبل »

حادثة أخرى ، إذا أثرت على هذه الحادثة بطريقة ما . والآن ، تنتشر المؤثرات من المركز بسرعات متفاوتة . وتمارس الصحف تأثيراً ينبعث من لندن بسرعة متوسطة مقدارها حوالى عشرين ميلاً فى الساعة . وقد تكون أكثر من ذلك بالنسبة للمسافات الطويلة . وكل ما يفعله إنسان ما بسبب ما قرأه فى الصحيفة هو بكل وضوح تال على طبع الصحيفة . والأصوات تتحرك أسرع من ذلك كثيراً : ومن الممكن ترتيب مجموعة من مكبرات الأصوات على طول الطرق الرئيسية ، على أن يذيع كل منها أخبار الصحف للسكبر الذى يليه . بيد أن البرق (التلغراف) أسرع ، والبرق اللاسلكى ينتقل بسرعة الضوء ، ولهذا لا يمكن للمرء أن يأمل فيما هو أسرع من ذلك . والآن ، ما يفعله إنسان نتيجة لتلقيه برقية لاسلكية يفعله « بعد » إرسال البرقية ، والمعنى هنا مستقل تمام الاستقلال عن المواصفات بالنسبة لقياس الزمن . بيد أن كل ما يفعله فى الوقت الذى تكون فيه البرقية فى طريقها إليه ، لا يمكن أن يتأثر بإرسال البرقية ، ولا يمكن أن يؤثر على الراسل إلا بعد إنقضاء وقت قصير بعد أن أرسل البرقية ، أعنى أنه إذا كان هناك جسمان منفصلان انفصالا بعيداً ، فإن أحدهما لا يستطيع أن يؤثر فى الآخر إلا بعد مرور فترة معينة من الوقت . وما يحدث قبل انقضاء هذا الوقت لا يمكن أن يؤثر على الجسم البعيد . فلنفرض أن حادثاً هاماً قد وقع للشمس : فهناك فترة من الزمن مقدارها ست عشرة دقيقة على الأرض لا تتأثر خلالها أية حادثة على الأرض أو يمكن أن تتأثر بتلك الحادثة الهامة المذكورة التى وقعت على الشمس ، وهذا يمنحنا أساساً جوهرياً للنظر إلى فترة الست عشرة دقيقة المنقضية على الأرض بأنها ليست قبل أو بعد الحادثة التى وقعت على الشمس .

ومفارقات نظرية النسبية الخاصة ليست مفارقات إلا لأننا لم نأف وجهة النظر هذه ، وإلا لأننا اعتدنا أن نأخذ الأشياء كما هى ، على حين أننا لانملك الحق فى أن نفعل ذلك . وهذا يصدق — بوجه خاص — فيما يتعلق بقياس الأطوال . فى الحياة اليومية ، الطريقة التى تتبعها فى قياس الأطوال هى أن نستخدم مسطرة أو أى مقياس آخر . وفى اللحظة التى نستعمل فيها المسطرة فإنها تكون ساكنة بالنسبة للجسم الذى نقيسه . وبالتالى فإن الطول الذى نصل إليه بالقياس هو الطول « المناسب » أعنى الطول كما يقدره مشاهد يشارك فى حركة الجسم . ولم تتعرض

قط في حياتنا العادية، لمشكلة قياس جسم في حركة مستمرة . وحتى لو فعلنا ذلك ، فإن سرعات الأجسام المرئية على الأرض ضئيلة بالنسبة للأرض إلى درجة لا تظهر معها الشذوذات التي تعالجها النظرية النسبية . بيد أننا في الفلك ، أو في البحث الخاص بالتركيب الذري ، تواجهنا مشكلات لا يمكن علاجها بهذه الطريقة . ولأننا لسنا يوشع فإننا لا نستطيع أن نوقف الشمس أثناء قياسنا لها ، وإذا كان علينا أن تقدر حجمها ، فلا بد أن تفعل ذلك أثناء حركتها بالنسبة إلينا . وكذلك إذا أردت أن تقدر حجم إلكترون فلا بد أن تفعل ذلك أثناء حركته السريعة لأنه لا يقف ساكناً لحظة واحدة أبداً ، وهذا هو نوع المشكلة الذي تعنى به نظرية النسبية . والقياس بمسطرة ، حين يكون ذلك ممكناً ، يعطى دائماً نفس النتيجة ، لأنه يعطى الطول « المناسب » للجسم ، ولكن ، حين لا يكون هذا المنهج ممكناً ، فإننا نجد أن أشياء عجيبة تحدث ، وخاصة إذا كان الجسم المطلوب قياسه يتحرك بسرعة كبيرة بالنسبة للمشاهد ، وقد يساعدنا شكل شبيه بالشكل الموجود في نهاية الفصل السابق على فهم هذه الأحوال ،



فلنفرض أن الجسم الذي نريد أن نقيس أطواله يتحرك بالنسبة إلينا ، وأنه في ثانية واحدة يتحرك المسافة « و م » . فلنرسم دائرة حول « و » يكون نصف قطرها هو المسافة التي يقطعها الضوء في ثانية ومن « م » أقم الخط « ب » عمودياً على « و م » ويلتقي بالدائرة في « ب » وهكذا تكون « ب » هي المسافة التي يقطعها الضوء في ثانية .

وتكون نسبة « و ب » إلى « و م » هي نسبة سرعة الضوء إلى سرعة الجسم . ونسبة « و ب » إلى « م ب » هي النسبة التي تتغير بها الأطوال الظاهرة نتيجة للحركة ، أي أنه إذا حكم المشاهد بأن نقطتين في خط الحركة على الجسم المتحرك يبعدان بمسافة يمثلها الخط « م ب » ، فإن شخصاً يتحرك مع الجسم سيحكم بأنهما كانتا على مسافة يمثلها (على نفس المستوى) الخط « و ب » . ولا تتأثر بالحركة المسافات الموجودة على الجسم المتحرك والتي تكون على زوايا قائمة بالنسبة لخط الحركة . والمسألة كلها تبدأية أي أنه إذا قام مشاهد يتحرك مع الجسم بقياس الأطوال الموجودة على

جسم المشاهد السابق ، فإنها تتغير بنفس النسبة . وحين يتحرك جسمان كل منهما بالنسبة إلى الآخر ، فإن أطوال كل منهما تبدو أقصر إلى الآخر منها إلى نفسها . وهذه هي نظرية فتزجيرالد في التقلص التي اخترعها ليفسر نتيجة تجربة ميكلسون - مورلي ، ولكنها تظهر الآن بصورة طبيعية من هذه الحقيقة وهي أن المشاهدين لا يحكان حكماً واحداً على الآنية .

والطريقة التي تتدخل بها الآنية هي هذه : نحن نقول إن نقطتين على جسم ما يبعدان مسافة قدم حين نستطيع أن نستخدم طرف مسطرة على نقطة وطرفها الآخر على النقطة الأخرى — وفي وقت واحد معاً . فإذا لم يتفق شخصان على الآنية ، ويكون الجسم في حركة ، فمن الواضح أنهما سيحصلان على نتائج مختلفة من قياساتهما . وهكذا تسكن المتاعب الخاصة بالزمان في أعماق المتاعب الخاصة بالمكان .

ونسبة $\frac{v}{c}$ إلى $\frac{v}{c}$ هي الشيء الجوهرى في هذه المسائل جميعاً . فالأزمنة والأطوال والكتل تتغير كلها بهذه النسبة حين يكون الجسم المعنى في حركة بالنسبة للمشاهد . وسيكون من المشاهد أنه إذا كانت $\frac{v}{c}$ ، أصغر كثيراً من $\frac{v}{c}$ ، أى أن الجسم المتحرك أبطأ كثيراً من سرعة الضوء ، فإن $\frac{v}{c}$ ، $\frac{v}{c}$ ، سيكونان متساويين تقريباً . بحيث أن التعديلات التي تحدثها الحركة ستكون ضئيلة جداً . ولكن إذا كان $\frac{v}{c}$ ، يكاد يكون طويلاً طول $\frac{v}{c}$ ، أى إذا كان الجسم يتحرك بسرعة أقرب إلى سرعة الضوء ، فإن $\frac{v}{c}$ يصبح قصيراً جداً إذا قيس بالخط $\frac{v}{c}$ ، وتصبح التأثيرات عظيمة جداً . وقد لوحظت الزيادة الظاهرة في الكتلة بالنسبة للجزيئات المتحركة حركة سريعة جداً ، كما أمكن العثور على المعادلة الصحيحة ، قبل أن يخترع أينشتين نظريته الخاصة في النسبية . والواقع ، أن « لورنتس » توصل إلى المعادلات المسماة بتحويل لورنتس ، وهي المعادلات التي تتضمن الجوهر الرياضى كله لنظرية النسبية الخاصة . غير أن أينشتين هو الذى أثبت أن المسألة كلها هي ما ينبغى أن نتظره ، لا مجرد مجموعة من الحيل التي تفسر النتائج التجريبية العجيبة . ومع ذلك ، ينبغى ألا ننسى أن النتائج التجريبية هي الدافع الأصيل للنظرية كلها ، وأنها ظلت الأساس للقيام بإعادة البناء المنطقي الهائل الذى تطلبته نظريات أينشتين .

نستطيع الآن أن نلخص الأسباب التي جعلت من الضروري إحلال عبارة
متصل « المكان — زمان » بدلا من « المكان والزمان » ، فالفصل القديم بين
المكان والزمان يقوم على اعتقاد بأنه لا لبس هناك في أن تقول إن حادثتين في
مكانين متباعدين قد وقعتا في زمن واحد بعينه ، وبالتالي كان من المعتقد أننا
نستطيع وصف « طبوغرافية » (وضع) الكون في لحظة معينة بمصطلحات
مكانية بحتة . ولكن بعد أن أصبحت الآنية منسوبة إلى مشاهد معين ، لم يعد ذلك
مكنا . فما يعده مشاهد ما وصفا لحالة العالم في لحظة معينة ، هو بالنسبة لمشاهد آخر
سلسلة من الحوادث وقعت في أزمنة مختلفة ، وليست علاقاتها مكانية فحسب ، بل
زمانية أيضاً . ولهذا السبب نفسه ، نحن معنيون بالحوادث ، لا بالأجسام . وقد
كان من الممكن في النظرية القديمة النظر إلى عدد من الأجسام ، كلها في نفس
اللحظة ، وما دام الزمان واحداً بالنسبة إليها جميعاً ، فمن الممكن تجاهله . أما
الآن ، فإننا لا نستطيع أن نفعل ذلك إذا أردنا الحصول على تفسير موضوعي
للقائع الفيزيائية . فلا بد أن نذكر التاريخ الذي ننظر فيه إلى الجسم ، وبهذا نصل
إلى « حادثة » ، أي إلى شيء يحدث في زمن معين . ونحن نعرف زمان ومكان
حادثة ما في نظام تسجيلي لمشاهد فإننا نستطيع أن نحسب زمانها ومكانها وفقاً
لمشاهد آخر . بيد أنه ينبغي علينا أن نعرف الزمان والمكان أيضاً لأننا لم نعد
نستطيع أن نسأل ما هو مكانها بالنسبة للمشاهد الجديد في « نفس » الوقت بالنسبة
للمشاهد القديم . وليس هذا شيئاً كينفس الزمان بالنسبة للمشاهدين المختلفين ، اللهم
إلا إذا كانوا ثابتين الواحد بالنسبة للآخر . ونحن نحتاج إلى أربعة قياسات
لتحديد وضع ما ، وأربعة قياسات لتحديد وضع حادثة ما في متصل « المكان زمان » ،
لا مجرد جسم في المكان . ولا تكفي ثلاثة قياسات لتحديد أي وضع . هذا هو
جوهر ما نعنيه باستبدال متصل « المكان — زمان » بالمكان والزمان .

الفصل السادس

نظرية النسبية الخاصة

قامت نظرية النسبية الخاصة بوصفها طريقة لتفسير وقائع الكهر ومغناطيسية. ولدينا في هذا المجال تاريخ عجيب . ففي القرن الثامن عشر ، وأوائل القرن التاسع عشر ، كانت نظرية الكهرباء تسودها المائلة النيوتينية سيادة تامة . فالشحنتان الكهربائيتان تجذب إحداهما الأخرى إذا كانت كل منهما من نوع مختلف ، أى حين تكون إحداهما موجبة ، والأخرى سالبة ، ولكنهما تتنافران إذا كانتا من نفس النوع . وفي كل حالة ، تختلف القوة وفقاً لعكس مربع المسافة ، كما هي الحال في الجاذبية . وكانت هذه القوة متصورة على أنها فعل عن بعد ، حتى أثبت فاراداي بعدد من التجارب البارة — تأثير الوسط بينهما . ولم يكن فاراداي عالم رياضته ، وكان كلارك مكسويل هو أول من أعطى شكلاً رياضياً للنتائج التي توحي بها تجارب فاراداي . وفضلاً عن ذلك ، أعطى كلارك مكسويل أساساً للتفكير بأن الضوء ظاهرة كهرومغناطيسية تتألف من موجات كهرومغناطيسية . ومن الممكن إذن أن يؤخذ الوسط الذي تنتقل فيه المؤثرات الكهرومغناطيسية على أنه الأثير ، الذي افترض منذ عهد بعيد على أنه المجال الذي ينتقل فيه الضوء . وثبتت صحة نظرية مكسويل عن الضوء بوساطة تجارب « هرتس » ، في إنتاج موجات كهرومغناطيسية ، ووضعت هذه التجارب أساس التلغراف اللاسلكي . وإلى هنا ، لدينا سجل حافل بالتقدم الظاهر ، تتبادل فيه النظرية والتجربة دور الزعامة . وكان يبدو أن الأثير في العصر الذي قام فيه هرتس بتجاربه — قد استقر مطمئناً ، وأصبح في مركز قوى كأي فرض على آخر لاسيلاً إلى التحقق من صدقه تحقيقاً مباشراً . بيد أن مجموعة جديدة من الوقائع بدأت تسكتشف ، وأخذت الصورة تتغير تدريجياً جملة وتفصيلاً .

كانت الحركة التي بلغت ذروتها بهرتس حركة تريد أن تجعل كل شيء متصلاً :

الآثير متصل ، والموجات متصلة ، وكان من المأمول أن تكون المادة مكونة من تركيب متصل في الآثير . ولكن جاء اكتشاف التركيب الذري للمادة ، بل التركيب المنفصل للذرات نفسها . وكان من المعتقد أن الذرات مكونة من الإلكترونات والبروتونات والنيوترونات . والإلكترون عبارة عن جزيء صغير يحمل شحنة محددة من الكهرباء السالبة ، أما البروتون فيحمل شحنة محددة من الكهرباء الموجبة ، بينما لا يحمل النيوترون أية شحنة (إنها مسألة عادة لحسب أن تسمى الشحنة التي يحملها الإلكترون سالبة والشحنة التي يحملها البروتون موجبة لا العكس) ، وكان يبدو محتملاً أن الكهرباء لا توجد إلا على هيئة شحنات على الإلكترون والبروتون ، وتحمل الإلكترونات جميعاً نفس الشحنة السالبة تماماً ، وكذلك تحمل كل البروتونات نفس الشحنة الموجبة المضادة المتساوية تماماً . واكتشفت فيما بعد جسيمات ثانوية ذرية أخرى ، ويسمى معظمها ميزونات أو هيبيرونات hyperons . وتزن البروتونات جميعاً وزناً واحداً بالضبط ، فهي حوالى ١٨٠٠ ضعف وزن الإلكترون . وكذلك تزن النيوترونات جميعاً نفس الوزن بالضبط ، وهي أثقل قليلاً من البروتونات . أما الميزونات التي يوجد منها عدة أنواع مختلفة ، فهي أثقل من الإلكترونات ، ولكنها أخف من البروتونات ، بينما الهيبيرونات أثقل من البروتونات أو النيوترونات .

وتحمل بعض الجسيمات شحنات كهربائية بينما لا تحمل الأخرى أية شحنات . وقد وجد أن الجسيمات التي تحمل شحنات موجبة تحمل نفس الشحنة التي يحملها البروتون ، بينما تحمل كل الجسيمات المحملة بشحنة سالبة نفس الشحنة التي يحملها الإلكترون ، على الرغم من أنها تختلف في صفاتها الأخرى تمام الاختلاف . وما يزيد المسألة تعقيداً أن هناك جسيماً يماثل الإلكترون ، ولا يختلف عنه إلا في أنه يحمل شحنة موجبة بدلاً من شحنة سالبة ، ويسمى البوزيترون positron . وقد اكتشف حديثاً جداً جسيم يماثل البروتون ، وكل الفرق بينهما هو أنه يحمل شحنة سالبة ، وقد أطلق عليه اسم « البروتون — المضاد » anti-proton .

ولا تنفصل هذه الكشوف عن التركيب المنفصل للمادة عن تلك الكشوف المسماة بظاهرة الكم quantum phenomena كالخطوط الالامعة في طيف النيرة .

ويبدو أن جميع العمليات الطبيعية تكشف عن انفصال أساسي حيثما أمكن قياسها بدقة كافية .

وهكذا ، كان على الفزياء أن تهضم حقائق جديدة ، وأن تواجه مشكلات جديدة . وعلى الرغم من أن نظرية الكم قد وجدت بصورتها الحالية ثلاثين عاماً ، ووجدت نظرية النسبية الخاصة خمسين عاماً ، فإن التقدم الجوهرى فى الربط بينهما لم يتم إلا فى وقت حديث جداً . وجعلت التطورات الحديثة فى نظرية الكم أكثر اتساقاً مع النسبية ، وأعانتنا هذه التحسينات على فهم الجسيمات الذرية الثانوية إلى حد كبير ، بيد أن كثيراً من الصعوبات الخطيرة ما برحت قائمة .

ولقد انطبعت المشكلات التى حلت بوساطة نظرية النسبية الخاصة فى مجالها الخاص ، بمعزل عن نظرية الكم ، بطابع تجربة ميكلسون - مورلى ، وعلى افتراض صحة نظرية مكسويل فى الكهرومغناطيسية ، كان لا بد من ظهور مؤثرات مكتشفة معينة للحركة خلال الاثير ، والواقع ، أنه لم توجد أية مؤثرات . ثم جاءت هذه الحقيقة الملحوظة وهى أن الجسم المتحرك حركة سريعة جداً يبدو أن كتلته تزداد . والزيادة تكون بنسبة د و ب ، إلى د م ب ، فى الشكل الموجود فى الفصل السابق . وتراكمت حقائق من هذا النوع تدريجياً حتى أصبح من الضرورى العثور على نظرية تفسر هذه الحقائق جميعاً .

وقد حوالت نظرية مكسويل نفسها إلى معادلات معينة تعرف باسم د معادلات مكسويل ، . ولقد ظلت هذه المعادلات صامدة فى وجه جميع الثورات التى اجتاحت الفزياء فى القرن الأخير ، والحق أنها قد ازدادت أهمية ، كما ازدادت يقيناً ، ذلك أن حجج مكسويل لتأييدها كانت مهروزة إلى درجة لا بد معها من إرجاع صحة نتائجها إلى الحدس ، intuition . وقد أمكن الحصول على هذه المعادلات بالطبع ، من تجارب أجريت فى معامل أرضية ، بيد أنه كان هناك افتراض ضمني بأن حركة الأرض خلال الاثير يمكن تجاهلها . وفى بعض الحالات - كما هى الحال فى تجربة ميكلسون مورلى - لم يكن هذا ممكناً ، إلا بوقوع

خطأ يمكن قياسه ، غير أن الأمر تكشف عن أن ذلك من الممكن دائماً . وقد ووجه الفزيائيون بصعوبة غريبة هي أن معادلات مكسويل أدق مما ينبغي أن تكون عليه . وقد شرح جايليو صعوبة مماثلة لهذه الصعوبة أشد المماثلة في مستهل الفزياء الحديثة . فمعظم الناس يعتقدون أنك إذا تركت ثقلاً يسقط ، فإنه يسقط عمودياً . ولكن ، لو أنك قمت بهذه التجربة في قررة سفينة متحركة ، فإن الثقل يسقط بالنسبة للقمرة ؛ وكأن السفينة ثابتة ، أى أنه لو بدأ ثلاً — من منتصف السقف ، فإنه يسقط وسط الأرضية ، وهذا معناه أنه من وجهة نظر مشاهد على الشاطئ لا يسقط عمودياً ، مادام يشارك السفينة في حركتها . وطالما كانت حركة السفينة منتظمة ، فإن كل ما يحدث داخل السفينة يحدث كما لو كانت السفينة لا تتحرك ، وقد فسر جايليو كيف يحدث هذا ، مما أثار استنكار تلاميذ أرسطو الشديد . وفي الفزياء التقليدية — المستمدة من جايليو ، ليس للحركة المتجانسة في خط مستقيم تأثيرات يمكن استكشافها . وقد كان ذلك — في يومها — شكلاً باعثاً على الدهشة من النسبية كما كانت نسبية أينشتين بالنسبة إلينا . وقد شرع أينشتين في نظرية النسبية الخاصة في العمل ليبين كيف يمكن ألا تتأثر الظواهر الكهرومغناطيسية بالحركة المنتظمة خلال الأثير — إذا كان ثم أثير . وهذه مشكلة أشد صعوبة ، مشكلة لا سييل إلى حلها بمجرد اعتناق مبادئ جايليو .

وقد كان المجهود العسير الذي يتطلبه حل هذه المشكلة ، يتعلق بالزمان ، إذ كان من الضروري إدخال فكرة الزمان الخاص ، التي تناوّلناها آنفاً ، وأن تتخلى عن الاعتقاد القديم في زمان كلي واحد . وقد تم التعبير عن القوانين الكمية للظواهر الكهرومغناطيسية في معادلات مكسويل . وقد وجد أن هذه المعادلات صادقة بالنسبة لأي مشاهد ، أياً كان ، متحرك . وأنها لجد مشكلة رياضية صرفة أن نكتشف ما هي الفروق التي ينبغي أن تكون بين المقاييس التي يستخدمها مشاهد ، والمقاييس التي يستخدمها آخر ، إذا وجدنا — أنه على الرغم من حركتهما الواحد بالنسبة للآخر — نفس المعادلات وقد تحقق صدقها . والحل متضمن في تحويل لورنتس ، الذي وجدته لورنتس بوصفه معادلة ، ولكنه فسر ، ووضح بواسطة أينشتين .

ويخبرنا تحويل لورنتس : ماهو تقدير المسافات ومدد الزمان التي يمكن أن يقوم بهما مشاهد معروفة حركته النسبية ، عندما تغطي لنا المسافات والفترات الزمانية لمشاهد آخر . فلنفترض أنك في قطار يسير على خط حديدى ويتجه شرقاً ، وقد ظلت مسافراً فترة من الزمن ، قدرته ساعات المحطة التي بدأت منها بـ « د » ، وعلى مسافة « م » من نقطة بدايتك — كما قام بقياسها الأشخاص الموجودون على الخط — وقع حادث في هذه اللحظة ولتكن هذه الحادثة أن البرق قد أصاب الخط الحديدى . وقد كنت مسافراً طيلة الوقت بسرعة متجانسة هي « س » . والسؤال هو : على أى بعد منك ستحكم بأن الحادثة قد وقعت ، وبعد أى زمن من شروءك في السفر ستكون بوساطة ساعتك ، على افتراض أن ساعتك مضبوطة ، من وجهة نظر مشاهد على القطار ؟

وعلى حلنا لهذه المشكلة أن يفي بشروط معينة . فعليه أن يظهر هذه النتيجة وهي أن سرعة الضوء واحدة بالنسبة للمشاهدين جميعاً ، أياً كانت حركتهم . وعليه أن يجعل الظواهر الفيزيائية — وعلى الأخص ظواهر الكهرومغناطيسية تخضع لنفس القوانين بالنسبة للمشاهدين المختلفين ، مهما وجدوا أن مقاييسهم للمسافات والأزمنة متأثرة بحركتهم . وعليه أن يجد مثل هذه المؤثرات جميعاً على القياس متبادلة ، أى أنك لو كنت في قطار ، كانت حركتك تؤثر على تقديرك للمسافات خارج القطار ، فلا بد أن يكون هناك تغيير مماثل تماماً في التقدير الذى يقوم به الأشخاص خارج القطار للمسافات داخله . وهذه الشروط كافية لتحديد حل المشكلة . غير أن منهج الحصول على الحل لا يمكن تفسيره إلا بمزيد من الرياضه لا يتيح الكتاب الحال .

وقبل أن نتناول المسألة في عبارات عامة ، دعنا نأخذ مثلاً : فلنفترض أنك في قطار على خط حديدى مستقيم طويل ، وأنت مسافر صوب الشرق بسرعة تعادل ثلاثة أخماس سرعة الضوء . فلنفترض أنك قست طول قطارك ، فوجدت أنه مائة ياردة . ولنفترض أن الأشخاص الذين يدركون منك لحظة أثناء عبورك ، ينجحون بوساطة المناهج العلمية البارة في تسجيل مشاهدات تمكنهم من حساب طول قطارك . وإذا قاموا بعملهم قياماً صحيحاً ، فإنهم سيجدون أن هذا

الطول عبارة عن ثمانين ياردة ، إذ سيبدو لهم كل ما في القطار أقصر في اتجاه القطار ، عما يبدو لك ، وستبدو أطباق المائدة التي تراها على أنها أطباق دائرية عادية — ستبدو للشاهد الخارجى وكأنها يضاوية : ستبدو في أربعة أخماس عرضها فحسب في الاتجاه الذى يتحرك فيه القطار كما تبدو في اتجاه عرض القطار ، وكل هذا تبادل . فلنفترض أنك تشاهد خارج النافذة رجلاً يحمل قضيباً لصيد السمك ، يبلغ طوله بقياسه هو خمسة عشر قدماً ، فلو أنه كان يمسكه عمودياً مستقيماً ، فسوف تراه كما يراه هو ، وستراه أيضاً كذلك إذا كان يمسك به أفقياً ولكنه متعامد مع القطار ، ولكن إذا كان يشير به إلى الخط الحديدى ، فسيبدو لك أن طوله ١٢ قدماً فحسب ، ذلك أن جميع الأطوال في اتجاه الحركة تنقص بنسبة 20% سواء بالنسبة لأولئك الذين ينظرون إلى داخل القطار من الخارج أو بالنسبة لمن ينظر إلى خارج القطار من الداخل .

يبد أن الآثار المتعلقة بالزمان أعجب من ذلك . وقد شرح إدنجتون هذه المسألة في كتابه ، المكان والزمان والجاذبية ، شرحاً مثالياً في وضوحه . فقد افترض أن طياراً يطير بسرعة ١٦١,٠٠٠ ميلاً في الثانية بالنسبة للأرض ، ثم يقول :

« لو أننا شاهدنا الطيار بعناية ، فسوف نستنتج أنه بطيء بطئاً غير عادى في حركاته ، وستكون الحوادث المصاحبة له في حركته بطيئة بطئاً بمائلاً — وكأننا نسى الزمان أن يجري . فسيجاره يبقى ضعف الوقت الذى يبقاه سيجار من سيجارنا . وقد قلت « نستنتج » عن قصد ، و « منرى » بطئاً أشد مبالغة في الزمان ، بيد أن هذا من اليسير تفسيره ، لأن الطيار يزيد من المسافة التى يبتنا بسرعة ، وانطباعات الضوء تستغرق وقتاً أطول وأطول لكي تصل إلينا . ويبقى التأخر الأشد اعتدالا المشار إليه بعد أن يحسب حساب انتقال الضوء . غير أن التبادل يتدخل هنا مرة ثانية ، لأننا نحن الذين نتحرك — في نظر الطيار — بسرعة ١٦١,٠٠٠ ميلاً في الثانية ، وحين يضع في حسابه كافة الاعتبارات ، يجد أننا نحن المبطلون : وأن سيجارنا هو الذى يدوم ضعف سيجاره . »

ياله من موقف لا يحسد عليه ! كل يعتقد أن سيجار الآخر يدوم ضعف سيجاره .

وقد يكون من دواعي العزاء — على كل حال — أن زيارات الأخير للطبيب تدوم أيضا بنسبة الضعف !

ومسألة الزمان هذه مسألة معقدة ، نظراً لأن الحوادث التي يراها شخص ما على أنها وقعت في وقت واحد ، يراها الآخر منفصلة بعضها عن البعض الآخر بفترة من الزمن .. ولكي أحاول توضيح كيفية تأثير الزمان ، سأعود إلى قطارنا الذي يسافر متجهاً إلى الشرق بسرعة تعادل ثلاثة أخماس سرعة الضوء . وسأفترض زيادة في التوضيح — أن الأرض كبيرة مستوية ، بدلاً من أن تكون صغيرة مكورة .

فلو أننا أخذنا الحوادث التي تقع في نقطة محددة على الأرض وسألنا أنفسنا كيف ستبدو بعد بداية الرحلة بالنسبة للمسافر من حيث طولها الزمني ، والإجابة هي أنه سيكون هناك ذلك الإبطاء الذي يتحدث عنه إدنجتون ، وهذا معناه في هذه الحالة ، أن ما يبدو ساعة في حياة الشخص الساكن سينحكم عليه الرجل الذي يلاحظه من القطار على أنه ساعة وربع . وبالتبادل ، ما يبدو على أنه ساعة في حياة راكب القطار ، سينحكم عليه الشخص الذي يلاحظه من الخارج على أنه ساعة وربع . فكل منهما يجعل من فترات الزمن التي يلاحظها في حياة الآخر أطول بربع ساعة من الرجل الذي يحيا هذه الفترات ، والنسبة هي نفسها فيما يتعلق بالآزمان ، كما هي الحال بالنسبة للأطوال .

ولكننا ، حين نقارن حوادث منفصلة انفصالاً متباعداً في المكان ، بدلاً من أن نقارن حوادث تقع في مكان واحد على الأرض ، فإن النتائج ستكون أغرب . فلنأخذ الآن جميع الحوادث التي تقع على الخط الحديدي ، التي تكون من وجهة نظر شخص ثابت على الأرض ، تقع في لحظة معينة ، ولتكن هذه اللحظة هي اللحظة التي يمر فيها القطار أمام الشخص الثابت . فمن هذه الحوادث ، تكون تلك التي تقع على نقاط يتحرك القطار صوبها — ستبدو للمسافر على أنها قد حدثت فعلاً ، بينما الحوادث التي وقعت في نقاط خلف القطار ، ستبدو بالنسبة له على أنها مازالت في المستقبل . وحين أقول إن الحوادث في الاتجاه الأمامي ستبدو على أنها وقعت فعلاً ، فإنني أقول شيئاً لا يتسم بالدقة التامة ، لأنه لن يكون قد رأى تلك الحوادث بعد ، ولكنه حين يراها فعلاً ، فسوف يصل

إلى هذه النتيجة — بعد حساب سرعة الضوء — وهي أنها لا بد أن تكون قد وقعت قبل الحركة المذكورة . والحادثة التي تقع في الاتجاه الأمامي على الخط الحديدي ، والتي يقرر المشاهد الثابت أنها حدثت الآن (أو الأخرى أن يحكم بأنها وقعت الآن حين يصل إليه نبؤها) إذا وقعت على مسافة من الخط يستطيع الضوء أن يقطعها في ثانية ، سيحكم عليها المسافر بأنها حدثت منذ ثلاثة أرباع ثانية ، وإذا وقعت على مسافة من المشاهدين يحكم عليها الرجل الواقف على الأرض بأن الضوء يستطيع أن يقطعها في عام ، فإن المسافر سيحكم (حين يصل نبؤها إليه) بأنها وقعت مبكرة بتسعة أشهر على اللحظة التي مر فيها بساكن الأرض ، وسيؤرخ — بوجه عام — الحوادث التي تقع في الاتجاه الأمامي على طول الخط الحديدي — قبل حدوثها بثلاثة أرباع الوقت الذي يستغرقه الضوء ليقطع المسافة بينها وبين الرجل الواقف على الأرض والذي يمر به ، والذي يعتقد أن هذه الحوادث تقع الآن — أو سيذهب بالأخرى — إلى أنها قد حدثت الآن عند ما يصل الضوء المنبعث منها إليه . أما الحوادث التي تقع على الخط الحديدي خلف القطار ، فإن تأريخها سيكون بعد زمان حدوثها بنفس المقدار تماماً .

وعلى ذلك ، لا بد لنا من القيام بتصحيح مزدوج في تاريخ حادثة ما ، حين ننتقل من المشاهد الأرضي إلى المسافر ، فلا بد أولاً من أن نأخذ خمسة أرباع الوقت كما يقدره ساكن الأرض ، ثم نطرح من هذا المقدار ثلاثة أرباع الوقت الذي يستغرقه الضوء لينتقل من الحادثة موضوع المسألة إلى المقيم على الأرض .

خذ حادثة وقعت في جزء بعيد من السكون ، وهذه الحادثة تصبح ظاهرة بالنسبة لساكن الأرض والمسافر في اللحظة التي يمر فيها أحدهما بالآخر . وهنا يستطيع ساكن الأرض — إذا عرف المكان الذي وقعت فيه الحادثة — أن يحكم منذ متى وقعت تلك الحادثة ، ما دام يعرف سرعة الضوء . وإذا وقعت الحادثة في الاتجاه الذي يتحرك صوبه المسافر ، فسوف يستنتج المسافر بأنها حدثت منذ ضعف المدة التي يعتقد أنها ساكن الأرض . أما إذا وقعت في الاتجاه الذي جاء منه ، فسيجادل بأنها قد حدثت منذ نصف المدة فحسب التي يعتقد أنها ساكن الأرض . وإذا كان المسافر يتحرك بسرعة مختلفة ، فإن هذه النسب ستكون مختلفة .

فلنفترض الآن — (كما يحدث في بعض الأحيان) أن نجمين جديدين قد انفجرا فجأة وأصبحا مرئيين للمسافر وساكن الأرض الذي يمر به . وإيكن واحد منهما في الاتجاه الذي يسافر نحوه القطار ، والآخر في الاتجاه الذي أتى منه القطار . ولنفترض أن ساكن الأرض يستطيع — بطريقة ما — أن يقدر المسافة بين النجمين ، وأن يستنتج أن الضوء يستغرق خمسين عاماً للوصول إليه من النجم الذي يتحرك صوبه المسافر ، ومائة عام للوصول إليه من النجم الآخر . إنه سيجادل في هذه الحالة في أن الانفجار الذي أحدث النجم الجديد في الاتجاه الأمامي قد حدث منذ خمسين عاماً مضت ، بينما الانفجار الذي أحدث النجم الجديد الآخر قد وقع منذ مائة عام خلت . أما المسافر فسيعكس هذه الأرقام تماماً : فسيستنتج أن الانفجار الأمامي قد وقع منذ مائة عام مضت ، والانفجار الخلفي قد وقع منذ خمسين عاماً خلت . واعتقد أن كليهما يجادل جدلاً صحيحاً مبنياً على مادة فزيائية صحيحة . والواقع أن كليهما على حق ، اللهم إلا إذا تخيل كل منهما أن الآخر مخطيء . وينبغي أن نذكر أن كلا منهما سيقدر سرعة الضوء تقديراً واحداً ، لأن تقديراتها لمسافات النجمين الجديدين ستتباين بنفس النسبة التي تتباين بها تقديراتها للآزمنة منذ حدوث الانفجارين . والواقع أن أحد الدوافع الرئيسية لهذه النظرية بأكملها هو ضمان أن سرعة الضوء واحدة بالنسبة للمشاهدين جميعاً ، أيا كانت حركتهم . وهذه الحقيقة ، التي أقرتها التجربة — لم تكن تتفق مع النظريات القديمة وجعلت من الضروري — ضرورة مطلقة — قبول شيء يبعث على الدهشة ، ونظرية النسبية تبعث على الدهشة بمقدار تنافرها مع الوقائع . وليس من شك في أنها لن تكون بعد بعض الوقت باعثة على شيء من الدهشة على الإطلاق .

وهناك سمة أخرى على جانب عظيم من الأهمية في النظرية التي عرضناها ، وهي أنه على الرغم من أن المسافات والآزمنة تتباين بالنسبة للمشاهدين المختلفين فإننا نستطيع أن نستخلص منهم الكمية المسماة « الفاصل » Interval الذي يعد واحداً بالنسبة للمشاهدين جميعاً . ويتم الحصول على « الفاصل » في نظرية النسبية الخاصة على الوجه الآتي : خذ مربع المسافة بين حادثتين ، ومربع المسافة التي يقطعها الضوء في الوقت بين الحادثتين ، اطرح المقدار الأصغر من المقدار الأكبر ، وستكون النتيجة هي مربع الفاصل Interval بين الحادثتين . والفاصل واحد بالنسبة لجميع المشاهدين ، كما أنه يمثل علاقة فزيائية حقيقية بين الحادثتين ،

وهذا ما لا يفعله الزمان أو المسافة . ولقد أعطينا تركيباً هندسياً للفاصل في نهاية الفصل الرابع ، وهذا التركيب يعطى نفس النتيجة التي تعطيها القاعدة المذكورة . والفاصل يكون « زمانياً » حين يكون الزمان بين الحادثتين أطول مما يستغرقه الضوء ليمتقل من مكان الواحدة إلى مكان الأخرى ، وفي الحالة المضادة يكون « مكانياً » ، وحين يكون الزمان بين الحادثتين مساوياً تماماً للزمان الذي يستغرقه الضوء في الانتقال من الواحدة إلى الأخرى ، يكون الفاصل صفراً ، وحينئذ تكون الحادثتان واقعيتين على جزءين من شعاع ضوئي واحد ، اللهم إلا إذا لم يحدث أن يمر ضوء ما بهذا الطريق .

وعند ما نصل إلى نظرية النسبية العامة ، لا بد أن نعمم فكرة الفاصل . وكما نفذنا بعمق إلى تركيب العالم ، أصبح هذا التصور أكثر أهمية ، وبغرينا بأن نقول إنها الحقيقة التي ليست المسافات ودورات الزمان سوى تمثيل مشوش لها . ولقد غيرت نظرية النسبية من نظرتنا عن التركيب الأساسي للعالم ، وهذا هو مصدر صعوبتها وأهميتها في الوقت نفسه .

ويمكن أن يحذف القراء الذين لا يلبون بأية معرفة أولية بالهندسة أو الجبر بقية هذا الفصل . بيد أنني سأضيف بضعة شروح قلائل للمعادلة العامة التي لم أعط منها حتى الآن سوى نماذج جزئية ، وذلك لفائدة أولئك الذين لم يهمل تعليمهم إهمالاً تاماً ، والمعادلة العامة التي أشير إليها هي معادلة تحويل لورنتس التي تقول : عند ما يتحرك جسم ما حركة معينة بالنسبة لجسم آخر ، كيف نستنتج مقاييس الأطوال — والأزمان الخاصة بجسم ما من المقاييس الخاصة بالجسم الآخر . وقبل أن أعطي المعادلة الجبرية ، سأعطي تركيباً هندسياً . سنفترض — كما افترضنا من قبل — أن هناك مشاهدين سنسمي أحدهما « و » ، والآخر « و » : أحدهما ثابت على الأرض ، والآخر يسافر بسرعة واحدة على خط حديدي مستقيم . وقد كان المشاهدان — في مستهل الوقت المذكور — في نفس النقطة من الخط الحديدي ، ولكنهما الآن منفصلان بمسافة معينة ، وتضرب ومضة من البرق النقطة « س » ، على الخط الحديدي ، ويحكم « و » أنه في اللحظة التي وقعت فيها الومضة ، كان المشاهد الموجود في القطار قد وصل إلى النقطة « و » . والمشكلة هي : ما هي المسافة التي سيحكم « و » بأنه يبعد بها عن الومضة ؟ وبعد مضي كم من الوقت

دع نفس الحادثة تقع على مسافة ط على الخط الحديدى ، وفى زمن « ت » بعد
بداية الرحلة . دع « ج » تكون هى سرعة الضوء و « ف » هى سرعة « و » ،
بالنسبة للملاحظ « و » ، ضع .

$$ب = \frac{ج}{\sqrt{ج^2 - ف^2}}$$

ثم

$$ط = ب (س - ف ت)$$

$$ت = ب (ت - \frac{ف س}{ج})$$

هذه هى معادلات « تحويل لورنتس » ومنها يمكن استنتاج كل ماورد فى
هذا الفصل .

الفصل السابع

الفواصل في متصل "المكان-زمان"

لقد حلت نظرية النسبية الخاصة ، التي عرضناها آنفا — مشكلة معينة محددة حلاً تاماً ، ألا وهي : تفسير الواقعة التجريبية التي مؤداها : [حين يكون جسمان في حركة منتظمة كل بالنسبة للآخر ، فإن قوانين الفزياء جميعاً سواء أكانت قوانين الديناميكا العادية ، أم القوانين المتصلة بالكهرباء والمغناطيسية ، تنطبق هي نفسها تماماً على الجسمين] . والحركة المنتظمة ، هنا معناها الحركة في خط مستقيم وبسرعة ثابتة . ولكن ، على الرغم من أن النظرية الخاصة قد حلت مشكلة ، فقد أثرت على الفور مشكلة أخرى . ماذا لو أن حركة الجسمين لم تكن منتظمة ؟ فلنفرض — على سبيل المثال أن أحد الجسمين هو الأرض ، بينما الجسم الآخر عبارة عن حجر ساقط ، فللحجر سرعة متزايدة وهو يسقط باستمرار أسرع فأسرع . وهنا لا نجد شيئاً في النظرية الخاصة يمكننا من أن نقول إن قوانين الظاهرة الفزيائية ، ستكون هي نفسها بالنسبة لمشاهد على الحجر ، ومشاهد على الأرض وهذا شيء محير بوجه خاص ، لأن الأرض نفسها — بمعنى واسع — عبارة عن جسم ساقط ، ولها في كل لحظة سرعة^(١) نحو الشمس ، وهي السرعة التي تجعلها تدور حول الشمس بدلاً من أن تتحرك في خط مستقيم . ولما كانت معرفتنا بالفزياء مستمدة من تجاربنا على الأرض ، فنحن لا نستطيع أن نقنع بنظرية يفترض فيها أن المشاهد بلا سرعة . ونظرية النسبية العامة تزيل هذا القيد ، وتسمح للمشاهد أن يتحرك بأية طريقة : في خط مستقيم أو ملتو ، بطريقة منتظمة ، أو يتحرك بعجلة . وفي أثناء إزالة هذا القيد ، انتهى أينشتين إلى قانونه الجديد في الجاذبية ، وهو القانون الذي سنتناوله الآن . وكان العمل صعباً صعوبة

(١) هذا لا يعني أن سرعتها متزايدة. ولكن معناه أنها متغيرة الاتجاه والنوع الوحيد للحركة الذي لا عجلة له هو الحركة ذات السرعة المنتظمة « في خط مستقيم » .

غير عادية . وشغله عشر سنوات . فلقد ظهرت النظرية الخاصة عام ١٩٠٥ ،
والنظرية العامة سنة ١٩١٥ .

ومن الجلى — من الخبرات المألوفة لنا جميعاً — أن الحركة المتغيرة السرعة
أصعب كثيراً في تناولها من الحركة المنتظمة . فإذا كنت في قطار يجرى بسرعة
منتظمة ، فلن تلاحظ حركته ما دمت لا تنظر من النافذة ؛ ولكن ، حين تستخدم
الفرامل فجأة ، تندفع إلى الأمام ، وتدرك أن شيئاً ما يحدث دون أن يكون عليك
أن تشاهد أى شيء خارج القطار . وكذلك يبدو كل شيء عادياً في المصعد
حينما يتحرك بانتظام ، ولكنه في البدء والوقوف حين تتغير سرعته ، فإنك تشعر
بإحساسات غريبة في الأبط . (تسمى حركة ما متغيرة حين تزداد بطناً ، أو
تزداد سرعة ، وحين تبطئ . يكون التغيير سلبياً) وهذا الكلام نفسه ينطبق على
إسقاط ثقل في قرة سفينة . فما دامت السفينة تتحرك حركة منتظمة ، فإن الثقل
سوف يسلك بالنسبة للقمرة — وكأن السفينة ساكنة لا تتحرك ، فإذا بدأ في
السقوط من منتصف السقف فإنه سيقع في منتصف الأرضية . ولكن إذا كان ثمة
تغيير في السرعة فسوف يتغير كل شيء . فإذا كانت السفينة تزيد من سرعتها زيادة
كبيرة ، فسيبدو الثقل بالنسبة لمشاهد موجود داخل القمر — ساقطاً في منحني
متجهها نحو المؤخرة ، وإذا كانت الحركة تتناقص بسرعة ، فسوف يكون المنحني
متجهها نحو المقدمة . هذه الحقائق جميعاً مألوفة ، وقد أدت بجاليليو ونيوتن إلى
إلى أن ينظروا إلى الحركة المتغيرة على أنها شيء مختلف اختلافاً أساسياً بطبيعته
عن الحركة المنتظمة . بيد أن هذه التفرقة لا يمكن الاقتناع بها إلا بالنظر إلى
الحركة بوصفها مطلقة ، لا نسبية . فلو أن كل حركة كانت نسبية ، فإن الأرض
تغير سرعتها بالنسبة للمصعد ، كما يغير المصعد سرعته بالنسبة للأرض تماماً ومع
ذلك فإن الأشخاص الواقفين على الأرض لا يشعرون بإحساسات غريبة في
الأبط حين يبدأ المصعد في الارتفاع . وهذا يصور لنا صعوبة مشكلتنا والواقع
أنه على الرغم من اعتقاد عدد قليل من الفزيائيين في عصرنا الحديث في الحركة
المطلقة ، فما زالت تقنية (تكنيك) الفزياء الرياضية تتضمن اعتقاد نيوتن في
هذه الحركة المطلقة ، وكان لابد من ثورة في المنهج لكي نحصل على تقنية (تكنيك)
متحررة من هذا الافتراض . وقد تمت هذه الثورة في نظرية أينشتاين النسبية العامة

وربما كانت بدايتنا في شرح الأفكار الجديدة التي أتى بها أينشتين (انتقائية) إلى حد ما ، ولكننا نحسن صنعاً لو أخذنا بتصور « الفاصل » . فهذا التصور — كما يبدو في نظرية النسبية الخاصة — تعميم فعلاً للفكرة التقليدية عن المسافة في المكان والزمان ، ولكن من الضروري تعميمها أكثر من ذلك . وأياً كان الأمر ، فمن الضروري أن نشرح أولاً قدرأ معيناً من التاريخ ؛ ولهذا الغرض ينبغي أن نرجع القهقري إلى فيثاغورس .

ولعل فيثاغورس — شأنه في ذلك شأن كثير من الشخصيات العظيمة في التاريخ — لم يوجد قط ، فهو شخصية شبه أسطورية جمعت بين الرياضة والكهانة بنسب غير يقينية . وسأفترض — على كل حال — أنه قد وجد ، وأنه اكتشف النظرية المنسوبة إليه . وقد كان فيثاغورس معاصراً — على وجه التقريب — لسكونفوشيوس وبوذا ، وأنشأ طائفة دينية كان تعتقد أن من الشر أكل الفول ، كما أنشأ مدرسة للرياضيين اهتمت اهتماماً خاصاً بالمثلثات قائمة الزوايا . وتقول نظرية فيثاغورس (وهي النظرية ٤٧ عند إقليدس) إن مجموع المربعين المنشأين على الضلعين القصيرين من المثلث القائم الزاوية يساوي المربع المنشأ على الضلع المقابل للزاوية القائمة . وائس في الرياضة كلها عبارة لها ما لهذه العبارة من التاريخ المتميز . وقد تعلمنا جميعاً كيف نبرهن عليها في صبانا . ومن الحق أن « البرهان » لم يكن يثبت شيئاً ، والطريقة الوحيدة لإثباتها كانت بواسطة التجربة . والحقبة أيضاً أن هذه القضية ليست صادقة تماماً ، ولكنها صادقة على وجه التقريب . بيد أن كل شيء في الهندسة — وبالتالي في الفيزياء — مشتق منها بتعميمات متعاقبة ، وأحدث هذه التعميمات هي نظرية النسبية العامة .

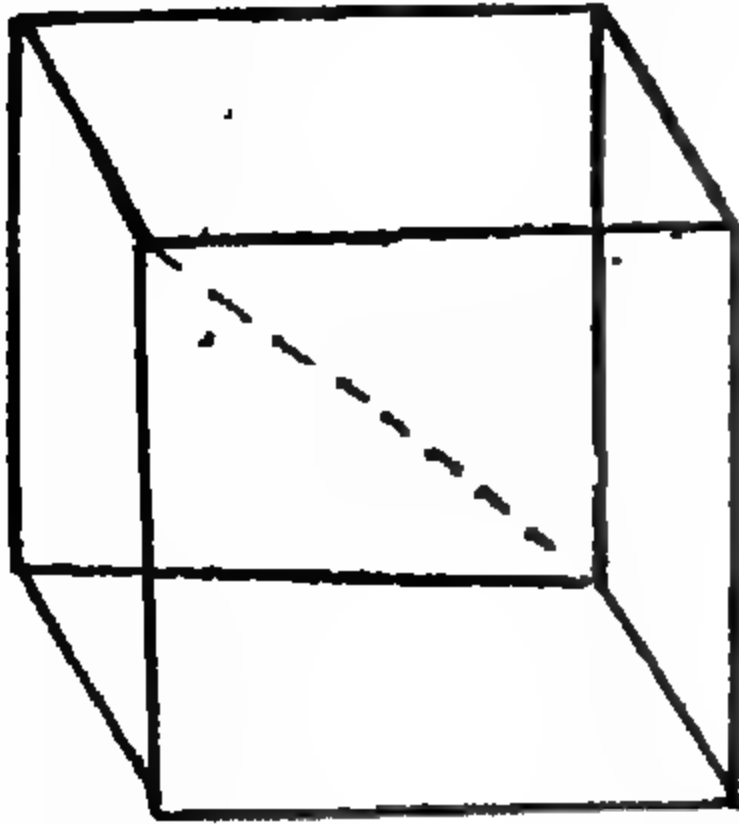
ومن المرجح أن نظرية فيثاغورس نفسها ، عبارة عن تعميم لقاعدة «الإبهام» المصرية . فقد كان من المعروف منذ قرون في مصر أن المثلث الذي تكون أضلاعه ٣ ، ٤ ، ٥ وحدات في الطول يكون مثلثاً قائم الزاوية . وقد استخدم المصريون هذه المعرفة — من الوجهة العملية . في قياس حقولهم . والآن ، إذا كانت أضلاع المثلث هي ٣ ، ٤ ، ٥ بوصة فإن المربعات المنشأة على هذه الأضلاع ستكون مساحتها على التوالي هي ٩ ، ١٦ ، ٢٥ بوصة مربعة ، وإذا أضيفت ٩ إلى ١٦ فيكون

الناتج ٢٥ . وثلاثة أضلاع ثلاثة تكتب د ٢٣ ، وأربعة أضلاع أربعة تكتب

د ٢٤ ، وخمسة أضلاع خمسة تكتب د ٢٥ ، وبذلك

تكون لدينا هذه المعادلة :

$$٢٥ = ٢٤ + ٢٣$$



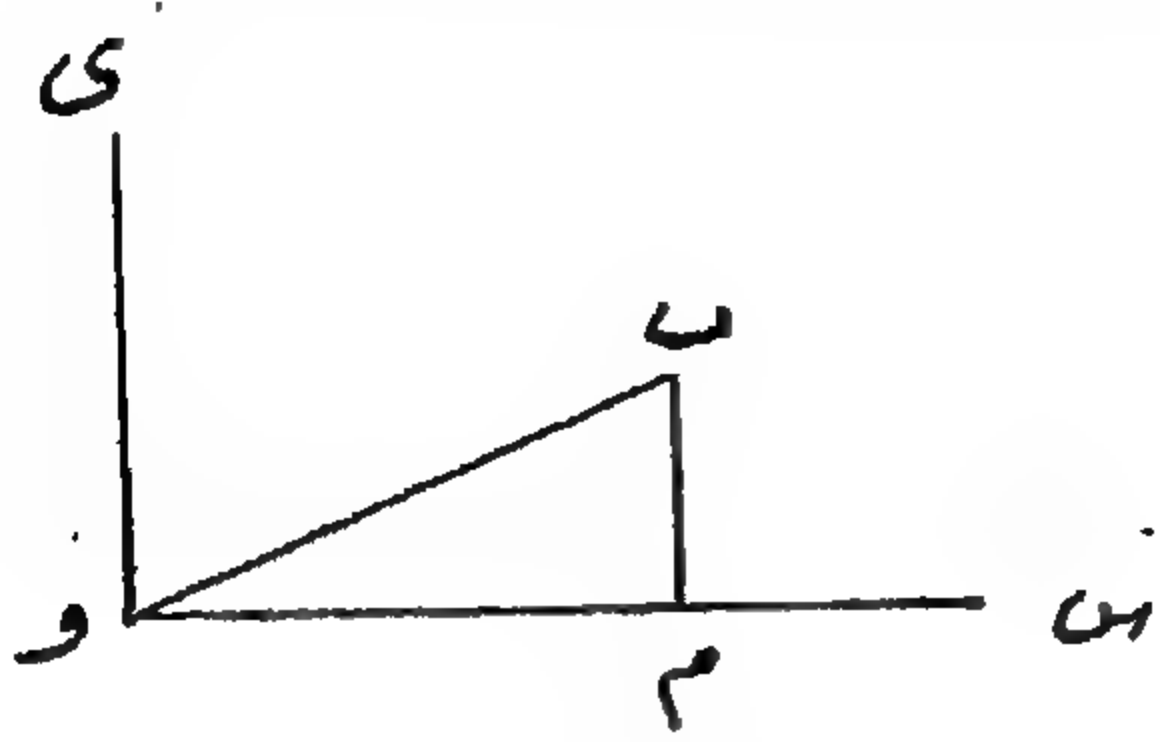
ومن المفروض أن فيثاغورس قد تنبه لهذه

الحقيقة ، بعد أن تعلم من المصريين أن المثلث الذى أضلاعه هي ٣ ، ٤ ، ٥ مثلث قائم الزاوية ، ووجد أن هذه الحقيقة يمكن تعميمها ، ومن ثم فقد توصل إلى نظريته المشهورة : فى المثلث القائم الزاوية ، يكون المربع المنشأ على الضلع المقابل للزاوية القائمة — مساويا لمجموع المربعين المنشأين على الضلعين الآخرين . وكذلك الحال فى الأشكال ذات الأبعاد الثلاثة : إذا أخذت كتلة قائمة الزوايا فإن المربع المنشأ على القطر (وهو الخط المرسوم بالنقطة فى الشكل المقابل) يساوى مجموع المربعات المنشأة على الجوانب الثلاثة .

هذا أقصى ما وصل إليه الأقدمون فى هذه المسألة .

وترجع الخطوة الهامة التالية إلى ديسكارت الذى جعل من نظرية فيثاغورس أساس منهجه فى الهندسة التحليلية . فافتراض أنك تريد أن ترسم خريطة منظمة لجميع الأماكن الموجودة فى سهل ما — وسنفترض أن هذا السهل صغير بدرجة تجعل من الممكن تجاهل حقيقة أن الأرض كروية . وسنفترض أنك تعيش وسط هذا السهل ، ومن أبسط الطرق لوصف موقع مكان أن تقول : ابدأ من منزلى ، ثم سر مسافة كذا وكذا ناحية الشرق ، ثم مسافة كذا وكذا شمالا (وقد يكون الغرب فى الحالة الأولى ، والجنوب فى الحالة الثانية) . وهذا يخبرك بموقع المكان تماما ، وهذا هو المنهج الطبيعى المتبع فى مدن أمريكا المستطيلة الشكل ففى نيويورك سيقال لك ، سر عددا معيناً من العمارات شرقا (أو غرباً) ثم عددا معيناً من العمارات شمالا (أو جنوباً) . والمسافة التى عليك أن تقطعها شرقا سنسميها (س) والمسافة التى عليك أن تقطعها شمالا سنسميها (ى) . وإذا كان عليك أن تتجه غرباً ، فستكون س سالبة ، وإذا كان عليك أن تتجه جنوباً فإن ي ستكون سالبة .

فلتكن « و م » هي المسافة التي تقطعها شرقاً ، و « م ب » هي المسافة التي تقطعها شمالاً . فعلى أى بعد تكون من منزلك على خط مستقيم عندما تصل إلى ب ؟ إن



نظرية فيثاغورس تعطيك الإجابة .

فالمربع القائم على و ب هو مجموع المربعين المقامين على و م ، و « م ب » ، فإذا كان « و م » عبارة عن أربعة أميال ، و « م ب » ثلاثة أميال ، فإن

« و ب » يكون خمسة أميال . وإذا كان « و م » ١١ ميلاً و « م ب » خمسة أميال ، فسيكون « و ب » ثلاثة عشر ميلاً لأن $12^2 + 5^2 = 13^2$. وهكذا إذا اصطنعت منهج ديكارت في رسم الخرائط ، فإن نظرية فيثاغورس تكون جوهرية في إعطائك المسافة من مكان إلى مكان . وفي الأشكال ذات الأبعاد الثلاثة الأمر مماثل تماماً . فلنفترض أنك تريد بدلاً من مجرد تحديد المواقع على السهل ، أن تثبت محطات لاعتقال البالونات فوقه ، فعليك في هذه الحالة أن تضيف مقداراً ثالثاً ، هو الارتفاع الذي سيكون عليه البالون . فإذا رمزت إلى الارتفاع بحرف « ع » ، وكانت « ر » هي المسافة المباشرة من « و » إلى البالون ، فستكون لديك هذه المعادلة :

$$ر^2 = س^2 + ص^2 + ع^2$$

ومن هذه المعادلة يمكن أن تحسب « ر » حين تعرف « س » ، « ص » ، « ع » . فإذا كنت تستطيع مثلاً أن تصعد إلى البالون بأن تسير ١٢ ميلاً إلى الشرق ، وأربعة أميال إلى الشمال ، وثلاثة أميال إلى أعلى فإن بعدك عن البالون في خط مستقيم هو ثلاثة عشر

$$\text{ميلاً لأن } 12 \times 12 = 144 ، 4 \times 4 = 16 ، 3 \times 3 = 9 ،$$

$$144 + 16 + 9 = 169 = 13 \times 13$$

ولكن فلنفترض أنك بدلاً من أن تأخذ رقعة صغيرة من سطح الأرض التي يمكن اعتبارها مسطحة ، فإنك تريد أن ترسم خريطة للعالم . ورسم خريطة دقيقة للعالم على ورقة مسطحة أمر محال . ويمكن أن تكون الكرة دقيقة بمعنى أن كل شيء

مرسوم عليها بمقياس رسم معين، أما الخريطة المسطحة فلا يمكن أن تكون دقيقة. واستأتحدث عن صعوبات عمالية، بل أتحدث عن استحالة نظرية. وعلى سبيل المثال: الأناصاف الشمالية من خط زوال جرينتش، وخط عرض ٩٠ في الطول الغربي، مع الجزء الموجود من خط الاستواء بينهما، تواف مثلثاً متساوي الأضلاع وزواياه جميعاً قائمة. مثل هذا النوع من المثلثات مستحيل على سطح مستو. ومن الممكن — من ناحية أخرى — أن تنشئ مربعاً على سطح مستو، ولكنك لن تستطيع ذلك على جسم كروي. فلنفترض أنك تحاول ذلك على الأرض. سر مائة ميل غرباً، ثم مائة ميل شمالاً، ثم مائة ميل شرقاً، ثم مائة ميل جنوباً. ولعلك تعتقد بهذا أنك رسمت مربعاً، والحقيقة أنك لن ترسم مربعاً، لأنك لن تعود في النهاية إلى النقطة التي بدأت منها. وإذا أتيح لك الوقت، فربما استطعت أن تقنع نفسك بالتجربة، وإذا لم يتح لك الوقت، فإنك تستطيع أن ترى بسهولة أن هذا الأمر ينبغي أن يكون كذلك. وحين تكون أقرب إلى القطب، فإن مائة ميل تقطع بك مسافة أطول على خط الطول — بما لو كنت أقرب إلى خط الاستواء، بحيث إنك حين تسير مائة ميل شرقاً (إذا كنت في نصف الكرة الشمالي) فإنك تصل إلى نقطة أبعد إلى الشرق من النقطة التي بدأت منها. فإذا اتجهت جنوباً بعد ذلك، فإنك تظل أبعد في الشرق من نقطة بدايتك، كما تنتهي عند مكان مختلف عن المكان الذي بدأت منه. فلنفترض — على سبيل مثال آخر — أنك بدأت على خط الاستواء من نقطة تبعد أربعة آلاف ميل شرق خط زوال جرينتش، ثم سافرت شمالاً على هذا الخط أربعة آلاف ميل، مخرقاً جرينتش، ومصعداً إلى المنطقة المجاورة لجزر شتلاند، ثم سافرت بعد ذلك شرقاً مسافة أربعة آلاف ميل، ثم أربعة آلاف ميل جنوباً. . . سيأخذك هذا كله إلى خط الاستواء عند نقطة تبعد حوالي أربعة آلاف ميل شرقاً عن النقطة التي بدأت منها.

وهذا الذي قلناه حتى الآن، ليس صائباً تماماً — بمعنى ما، وذلك لأن السفر شرقاً ليس هو أقصر طريق من مكان إلى مكان آخر يبعد عن المكان الأول شرقاً، اللهم إلا عند خط الاستواء. فالسفينة التي تبعد عنا إلى الشرق — ستبدأ بالذهاب إلى مسافة معينة ناحية الشمال — وستبحر في « دائرة عظمى، أي

دائرة مركزها هو مركز الأرض . وهذا هو أقرب اقتراب للخط المستقيم الذي يمكن رسمه على سطح الأرض . ودوائر خطوط الزوال الطولية عبارة عن دوائر عظمى ، وكذلك خط الاستواء ، أما خطوط العرض المتوازية الأخرى فليست كذلك . ولهذا ينبغي علينا إذن أن نكون قد افترضنا أنك حين تصل إلى جزر شتلاند ، تسافر أربعة آلاف ميل — لامتجهاً إلى الشرق ، بل في دائرة كبيرة تنتهى بك عند نقطة شرق جزر شتلاند . وهذا ، على كل حال ، يدعم تبيحتنا : وهى أنك تنتهى عند نقطة أبعد شرقاً مما كانت عليه نقطة بدايتك من قبل .

ماهى الفروق بين الهندسة على سطح كروى والهندسة على سطح مستو ؟ إنك إذا رسمت مثلثاً على الأرض ، أضلاعه عبارة عن دوائر عظمى فلن تجد أن مجموع زوايا المثلث عبارة عن زاويتين قائمتين : إن مجموعهما سيكون أكبر . والمقدار الذى تتجاوز به الزاويتين القائمتين يتناسب مع حجم المثلث . وعلى مثلث صغير يمكن أن ترسمه بالحيط على حديقتك أو حتى على مثلث تكونه ثلاث سفن تستطيع كل منها أن ترى الأخرى ؛ فإن الزوايا لن تزيد إلا قليلاً جداً عن زاويتين قائمتين ، بحيث لن تستطيع أن تعثر على الفرق . والسكنك إذا أخذت المثلث الذى يصنعه خط الاستواء وخط زوال جرينتش وخط الزوال . هـ . فإن مجموع الزوايا يصل إلى « ثلاث » زوايا قائمة . وتستطيع أيضاً أن تحصل على مثلثات يصل مجموع زواياها إلى ستة زوايا قائمة . وهذا كله تستطيع أن تسكتشفه بقياسات على سطح الأرض ، دون أن يكون عليك أن تحسب حساباً لآى شيء آخر فى بقية المكان .

وتفشل نظرية فيثاغورس أيضاً بالنسبة للمسافات الموجودة على سطح كروى . فإن المسافة بين مكانين من وجهة نظر مسافر مقيد إلى الأرض — هى مسافة « دائرتها العظمى » أى أقصر رحلة يستطيع أن يقوم بها إنسان دون أن يغادر سطح الأرض . فلنفترض الآن أنك أخذت ثلاثة أجزاء صغيرة من دوائر عظمى تصنع مثلثاً ، ولنفترض أن كل واحدة منها متعامدة على الأخرى ، أو لى تكون محددين ، فلتسكن واحدة على خط الاستواء والأخرى هى خط زوال جرينتش

والثالثة متجهة شمال خط الاستواء . فلنفترض أنك سرت ثلاثة آلاف ميل على خط الاستواء ، ثم أربعة آلاف ميل شمالاً ، أين ستكون من نقطة بدايتك ، مع تقدير لمسافة على دائرة عظمى ؟ إنك إذا كنت على سطح مستو ، فستكون على بعد خمسة آلاف ميل ، كما رأينا من قبل . والواقع — على كل حال — أن مسافة الدائرة العظمى ستكون أقل كثيراً من ذلك . ففي المثلث القائم الزاوية المرسوم على سطح كروي ، يكون المربع المنشأ على الضلع المقابل للزاوية القائمة أقل من مجموع المربعين المنشأين على الضلعين الآخرين . هذه الفروق بين الهندسة على سطح كروي وبين الهندسة على سطح مستو ، فروق أصلية أى أنها تمكنك من أن تجد ما إذا كان السطح الذى تعيش عليه يشبه سطحاً مستوياً أم كروياً دون أن يتطلب ذلك أن تدخل فى حسابك أى شيء آخر خارج هذا السطح . وقد أدت مثل هذه الاعتبارات إلى الخطوة الثالثة الهامة فى موضوعنا ، وهى الخطوة التى قام بها جاوس Gauss الذى عاش منذ مائة وخمسين عاماً مضت . وقد درس «جاوس» نظرية «السطوح» ، وتبين كيف يمكن تطويرها (أو التوسع فيها) بوساطة القياسات على السطوح نفسها دون الخروج عنها . فلكى نحدد موقع نقطة فى المكان ، نحتاج إلى ثلاث قياسات ، ولكننا لى نحدد موقع نقطة على سطح نحتاج إلى قياسين فقط : فمثلاً يتم تحديد نقطة على سطح الأرض إذا عرفنا خط العرض وخط الطول اللذين يمران بها .

وهنا وجد «جاوس» ، أنه أياً كان نظام القياس الذى تتخذه ، وأياً كانت طبيعة السطح ، فهناك دائماً طريقة لحساب المسافة بين نقطتين غير متباعدتين جداً على السطح . حين تعرف المقادير التى تحدد مواقعهما ، والمعادلة الخاصة بالمسافة هى تعميم لمعادلة فيثاغورس ، فهى تنبئك بمربع المسافة بدلالة مربعات الاختلاف بين المقادير المقيسة التى تحدد النقطتين ، وكذا جسيمة هذين المقدارين . وحين تعرف هذه المعادلة تستطيع أن تكشف الصفات الأصلية جميعاً للسطح ، أى ، كل تلك الصفات التى لا تعتمد على علاقات بنقاط خارج السطح . فتستطيع أن تكشف مثلاً ، ما إذا كانت زوايا مثلث ما ، يصل مجموعها إلى زاويتين قائمتين أو أكثر ، أو أقل ، أو أكثر فى بعض الحالات ، وأقل فى بعضها الآخر .

ولكننا حين نتحدث عن « مثلث » فلا بد أن نشرح ما نعنيه ، لأنه لا توجد خطوط مستقيمة على معظم السطوح. فعلى سطح كروي سنستبدل الخطوط المستقيمة بدوائر عظمى التى هى أقرب تقارب ممكن للخط المستقيم . وسنأخذ — بوجه عام — بدلاً من الخطوط المستقيمة — الخطوط التى تعطينا أقصر طريق على السطح من مكان إلى مكان. مثل هذه الخطوط تسمى خطوط جيوديسية Geodesics وهذه الخطوط الجيوديسية على الأرض عبارة عن دوائر عظمى ، فهى على وجه العموم أقصر طريق للسفر من نقطة إلى نقطة ، إذا لم تكن قادراً على مغادرة السطح . وهى تأخذ مكان الخطوط المستقيمة فى الهندسة الداخلية لسطح ما . وحين نتساوّل عما إذا كانت زوايا مثلث يصل مجموعها إلى زاويتين قائمتين أو لا يصل ، فإننا نعنى الحديث عن مثلث أضلاعه خطوط جيوديسية ، وعندما نتحدث عن مسافة بين نقطتين ، فإننا نعنى المسافة على خط جيوديسى .

والخطوة التالية فى عملية التعميم التى نقوم بها ، صعبة إلى حد ما : إنها الانتقال إلى الهندسة الإقليدية . فنحن نعيش فى عالم ، المكان فيه ثلاثة أبعاد ، ومعرفتنا التجريبية بالمكان مؤسسة على قياس المسافات الصغيرة والزوايا (وحين أتحدث عن المسافات الصغيرة أعنى المسافات الصغيرة باقيا إلى مسافات الفلك ، وكل المسافات التى على الأرض صغيرة بهذا المعنى .) وقد كان من المعتقد سابقاً أننا نستطيع التأكد قبلياً من أن المكان إقليدى — فمثلاً ، مجموع زوايا المثلث يساوى مجموع زاويتين قائمتين . ولكن ، عرفنا فيما بعد أننا لانستطيع إثبات ذلك بالمنطق ، وإذا كان لابد من معرفة ذلك ، فينبغى أن يعرف كنتيجة للقياسات . وكان من المعتقد قبل أينشتين أن القياسات تؤكد الهندسة الإقليدية داخل حدود الدقة الممكنة . والآن ، لم يعد ذلك معتقداً ، وما برح صادقاً أننا نستطيع — بما يمكن أن يسمى حيلة طبيعية — أن نجعل الهندسة الإقليدية « تبدو » صادقة خلال منطقة صغيرة مثل الأرض ، ولكن ، أدى الأمر بأينشتين فى شرحه للجاذبية إلى رأيه القائل بأنه فى المناطق الكبيرة حيث توجد مادة ، لا يمكن أن ننظر إلى المكان بوصفه إقليدياً . وسنهتم بأسباب ذلك فيما بعد . أما ما يهمنا الآن ، فهى الطريقة التى تنتج بها الهندسة الإقليدية من تعميم العمل الذى قام به

« جاوس » .

ليس هناك سبب يجعلنا لا نجد نفس الظروف في المكان ذي الأبعاد الثلاثة ، كما نجده مثلاً — على سطح كرة . وقد يحدث أن زوايا المثلث مجموعها دائماً أكثر من زاويتين قائمتين وأن الزيادة تكون متناسبة مع حجم المثلث . وقد يحدث أن المسافة بين نقطتين تعطى معادلة بمائلة المعادلة التي لدينا على سطح كرة ، ولكنها تتطلب ثلاثة مقادير ، بدلاً من مقدارين . وسواء يحدث هذا أم لا يحدث ، لا يمكن اكتشافه إلا بالقياسات الفعلية فحسب ، فهناك عدد لا متناه من مثل هذه الإمكانيات .

وتطورت هذه الطريقة على يد «ريمان» Riemann في رسالته «عن الافتراضات الكامنة وراء الهندسة» ، (١٨٥٤) والتي طبق فيها عمل جاوس عن السطوح على أنواع مختلفة من الأماكن ذات الأبعاد الثلاثة . وبين أن جميع السمات الجوهرية لنوع معين من المكان يمكن استنباطها من المعادلة الخاصة بالمسافات الصغيرة . وافترض أنه ، من المسافات الصغيرة في ثلاثة اتجاهات معطاة يمكن أن تحملك معها من نقطة إلى أخرى ليست بعيدة عنها ، فمن الممكن حساب المسافة بين النقطتين . فإذا عرفت — مثلاً — أنك تستطيع الانتقال من نقطة إلى أخرى بأن تتحرك مسافة معينة ناحية الشرق ، ثم مسافة معينة ناحية الشمال ، وأخيراً مسافة معينة مستقيمة إلى أعلى في الهواء فإنك تكون قادراً على حساب المسافة من نقطة إلى أخرى . وقاعدة الحساب هي امتداد لنظرية فيثاغورس ، بهذا المعنى ، وهو أنك تتوصل إلى مربع المسافة المطلوبة بجمع مضاعفات مربعات المسافات المسكوتة ، مع مضاعفات حصيلتها . ومن بعض السمات المعينة في المعادلة ، يمكنك أن تستدل على نوع المكان الذي تتناوله هذه المسألة . وهذه السمات لا تعتمد على المنهج الخاص الذي اتبعته في تحديد مواقع النقط .

ولكي نصل إلى ما نريده من نظرية النسبية ، علينا الآن أن نقوم بتعميم آخر: علينا أن نستبدل المسافة بين نقطتين «بالفاصل» بين الحادتين . وهذا يفضى بنا إلى متصل «المكان — الزمان» . ولقد رأينا أننا نجد مربع «الفاصل» — في نظرية النسبية الخاصة — بطرح مربع المسافة بين حادتين من مربع المسافة التي يقطعها الضوء في الوقت المنقضى بينهما . أما في النظرية العامة ، فلا نفترض هذه الصورة الخاصة للفاصل . بل نفترض أننا نبدأ بصورة عامة شبيهة بالصورة التي استخدمها

ريمان للمسافات . وفضلاً عن ذلك ، فقد افترض أينشتين - شأنه في ذلك شأن ريمان - معادلاته للحوادث المتجاورة ، فحسب ، أى للحوادث ذات الفاصل القصير بينها فحسب . أما مايجرى وراء هذه الافتراضات الأولى فيتوقف على ملاحظة الحركة الفعلية للأجسام ، بطرق سنقوم بشرحها في الفصول القادمة . ونستطيع الآن أن نلخص ونعيد تقرير العملية التي قمنا بوصفها . في الأماكن ذات الأبعاد الثلاثة يمكن تحديد موقع نقطة بالنسبة لنقطة ثابتة (الأصل) بالإشارة إلى ثلاثة مقادير (الإحداثيات) . فمن الممكن مثلاً تحديد موقع بالون بالنسبة لمنزلك ، إذا عرفت أنك تصل إليه بأن تسير أولاً مسافة معينة صوب الشرق ، ثم مسافة أخرى معينة ناحية الشمال ، ثم بالصعود مسافة أخرى إلى أعلى . وعندما تكون الإحداثيات الثلاث - كما هي الحال في هذا المثل - ثلاث مسافات متعامدة بعضها على البعض الآخر ، والتي تنقلك على التوالي إلى أصل النقطة موضوع المسألة ، فإن مربع المسافة المباشرة لهذه النقطة ، هو مجموع مربعات الإحداثيات الثلاث . وفي الحالات جميعاً - سواء في المكان الإقليدي أو في المكان اللاإقليدي ، يمكن الحصول عليه بجمع مضاعفات المربعات ونواتج الاحداثيات وفقاً للقاعدة المقررة . وقد تكون الإحداثيات أية مقادير تحدد موقع نقطة ما ، بشرط أن تكون للنقاط المتجاورة مقادير متجاورة لإحداثياتها . ونحن نضيف - في النظرية العامة للنسبية - إحداثية رابعة لنعطى الزمان ، ومعادلتنا تعطى الفاصل ، بدلاً من المسافة المكانية ، وفضلاً عن ذلك فإننا نفترض دقة معادلتنا بالنسبة للمسافات الصغيرة فحسب .

وما نحن أخيراً في وضع يسمح لنا بتناول نظرية أينشتين في الجاذبية .

الفصل الثامن

قانون أينشتاين للجاذبية

قبل أن تتعرض لقانون أينشتاين الجديد ، يحسن بنا أن نقنع أنفسنا — على أسس منطقية — بأن قانون نيوتن للجاذبية لا يمكن أن يكون صحيحاً تمام الصحة .

قال نيوتن إنه بين أى جسيمين من المادة ، ثمة قوة تتناسب مع حاصل ضرب كتلتيهما ، وتتناسب عكسياً مع مربع المسافة بينهما . وهذا معناه — بغض النظر في الوقت الحالى عن مسألة السكتلة — أنه إذا كان هناك جذب معين حين يكون الجسيان على بعد ميل ، كل عن الآخر ، فسيكون بينهما ربع قوة الجذب إذا كانت المسافة بينهما ميلين ، وتسع قوة الجذب حين تكون المسافة بينهما ثلاثة أميال ، وهلم جرا : فالجذب يتناقص بأسرع مما تزداد المسافة . والآن ، عندما تحدث نيوتن عن المسافة ، فقد كان يعنى — بالطبع — المسافة في وقت معين . . بيد أننا قد رأينا أن هذا خطأ . فما يحكم عليه ملاحظ بأنه نفس اللحظة على الأرض والشمس ، يحكم عليه ملاحظ آخر بأنها لحظتان مختلفتان . فالمسافة في لحظة معينة ، عبارة إذن عن تصور ذاتي : من العسير أن يدخل في قانون كوني . ونستطيع بالطبع — أن نجعل قانوننا غير ملتبس بأن نقول إننا سوف نقدر الأزمنة كما يقدرها مرصد جريتش ، غير أننا لانكاد نعتقد أن ظروف الأرض العرضية تستحق أن تؤخذ هذا المأخذ من الجد . وسيختلف تقدير المسافة أيضاً بالنسبة للشاهدين المختلفين . وعلى هذا لانستطيع أن نسمح بأن تكون الصورة التي عليها قانون نيوتن للجاذبية صحيحة تماماً ، مادامت ستعطى نتائج مختلفة وفقاً لعدد المواصفات المشروعة التي تبناها على حد سواء . وهذا القول لا يقل عبثاً عن مسألة يكون فيها تحديد رجل قتل رجلاً آخر متوقفاً على وصف كل منهما باسمه الخاص أو باسم عائلته . ومن

الجلي أن القوانين الفيزيائية ينبغي أن تكون واحدة سواء قيست المسافات بالأميال أم بالكيلومترات . ونحن مهتمون بما يمكن أن يعد — جوهرياً — امتداداً لنفس المبدأ .

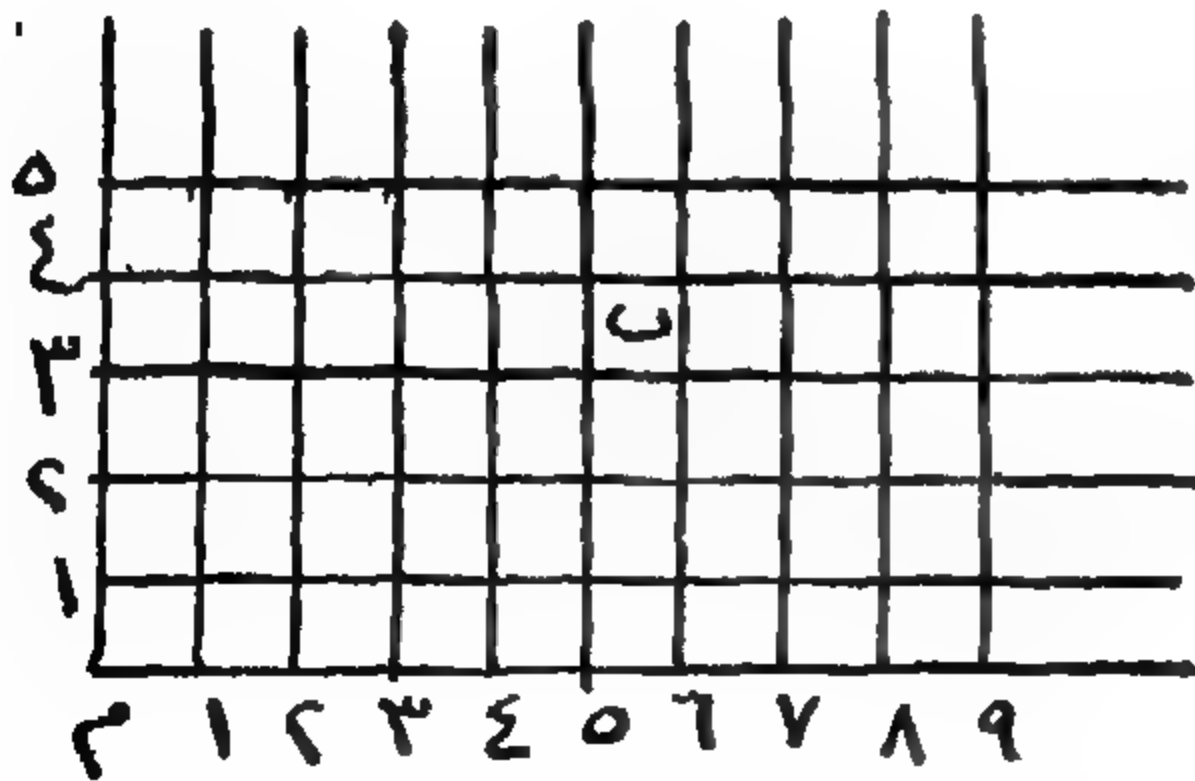
وقياساتنا أكثر خضوعاً للاتفاق ، مما تقبله نظرية النسبية الخاصة . وفضلاً عن ذلك فإن كل قياس عبارة عن عملية فيزيائية تتم بوساطة مادة فيزيائية ، والنتيجة هي بكل تأكيد ، معطى تجريبي experimental datum ولكنها قد لا تكون قابلة للتفسير البسيط الذي نخضعه عليها عادة . ولهذا ، لن نفترض — كبدائية — أننا نعرف كيف نقيس أى شيء ، وسنفترض أن هناك كمية فيزيائية معينة تسمى « الفاصل » وهو عبارة عن علاقة بين حادثتين لا تنفصل إحداها عن الأخرى انفصلاً متباعداً جداً ، ولكننا لنفترض مقدماً أننا نعرف كيف نقيسها ، دون أن نتجاوز ما أخذناه على أنه شيء مفروغ منه ، وهو أنها تعطى بوساطة تعميم معين لنظرية فيثاغورس ، كما تحدثنا عن ذلك في الفصل السابق .

ومهما يكن من أمر ، فنحن نفترض أن للحوادث « نظاماً » ، وأن هذا النظام ذو أبعاد أربعة . ونحن نفترض — أعني أننا نعرف ما نعنيه بقولنا إن حادثة معينة أقرب إلى حادثة أخرى من حادثة ثالثة ، بحيث أننا قبل أن نقوم بقياسات دقيقة ، نستطيع أن نتحدث عن « جواز » حادثة ما ، ونحن نفترض — أنه لكي نحدد موقع حادثة في متصل « الزمان — مكان » فلا بد لنا من أربعة مقادير (إحداثيات) وهذه المقادير الأربعة هي في الحالة السابقة الخاصة بالانفجار الذي حدث في منطاد : خط العرض وخط الطول ، والارتفاع والزمان . ولكننا لانفترض شيئاً عن الطريقة التي تحدد بوساطتها هذه الإحداثيات ، اللهم إلا أن الإحداثيات المتجاورة تنسب لحوادث متجاورة .

والطريقة التي تتم بها تحديد هذه الأرقام المسماة إحداثيات ليست جغرافية تماماً ، كما أنها ليست نتيجة لقياس دقيق ، بل هي تقع في منطقة وسط بين هذا وذاك . فبينما تقوم برحلة متصلة ، ينبغي ألا تتغير إحداثياتك في قفزات مفاجئة . ففي أمريكا — من المرجح أن تحمل المنازل بين الشارع الرابع عشر والشارع الخامس عشر الأرقام من ١٤٠٠ إلى ١٥٠٠ ، بينما من المرجح أن تحمل المنازل

الموجودة بين الشارع الخامس عشر والشارع السادس أرقاماً بين ١٥٠٠ و ١٦٠٠ ، حتى ولو لم تكن الأرقام المبتدئة بـ ١٤٠٠ قد استنفذت . ولن يفيد ذلك أغراضنا ، لأن هناك قفزة مفاجئة حين نتقل من عمارة إلى أخرى . أو لعلنا نحدد إحداثية الزمن بالطريقة التالية : خذ الزمن الذي ينقضي بين مولدين متعاقبين لشخصين يدعيان « سميث » ، وحيث تكون للحادثة التي تقع بين مولدى سميث رقم ٣٠٠٠ ، وسميث الواحد بعد الثلاثة آلاف إحداثية تقع بين ٣٠٠٠ و ٣٠٠١ ، والجزء الكسرى لإحداثيتها سيكون كسراً من السنة التي انقضت منذ ميلاد سميث الثلاثة آلاف . (من الواضح أنه ان يكون قط ما يعادل عاماً بين إضافتين متعاقبتين للعائلة المؤلفة من أسماء سميث) وهذه الطريقة لتحديد إحداثية الزمان محددة تماماً ، ولكنها غير مقبولة بالنسبة لأغراضنا ، إذ سيكون هناك قفزات مفاجئة بين الحوادث التي تقع قبل مولد سميث مباشرة ، وبعد مولده مباشرة بحيث لا تتغير إحداثية زمنك ، في رحلتك المتصلة تغيراً مستمراً . ومن المفترض — بغض النظر عن القياس — أننا نعرف ما تعنيه الرحلة المتصلة . وحين يتغير وضعك في متصل ، الزمان — مكان ، باستمرار ، فإن كل إحداثية من إحداثياتك الأربع ينبغي أن تتغير باستمرار ، ولكن ، مهما يحدث من تغيير ، فلا بد أن يكون تغييراً هادئاً ، بلا قفزات مفاجئة . وهذا يفسر لنا ، ما ليس ، مسموحاً به في تحديد الإحداثيات .

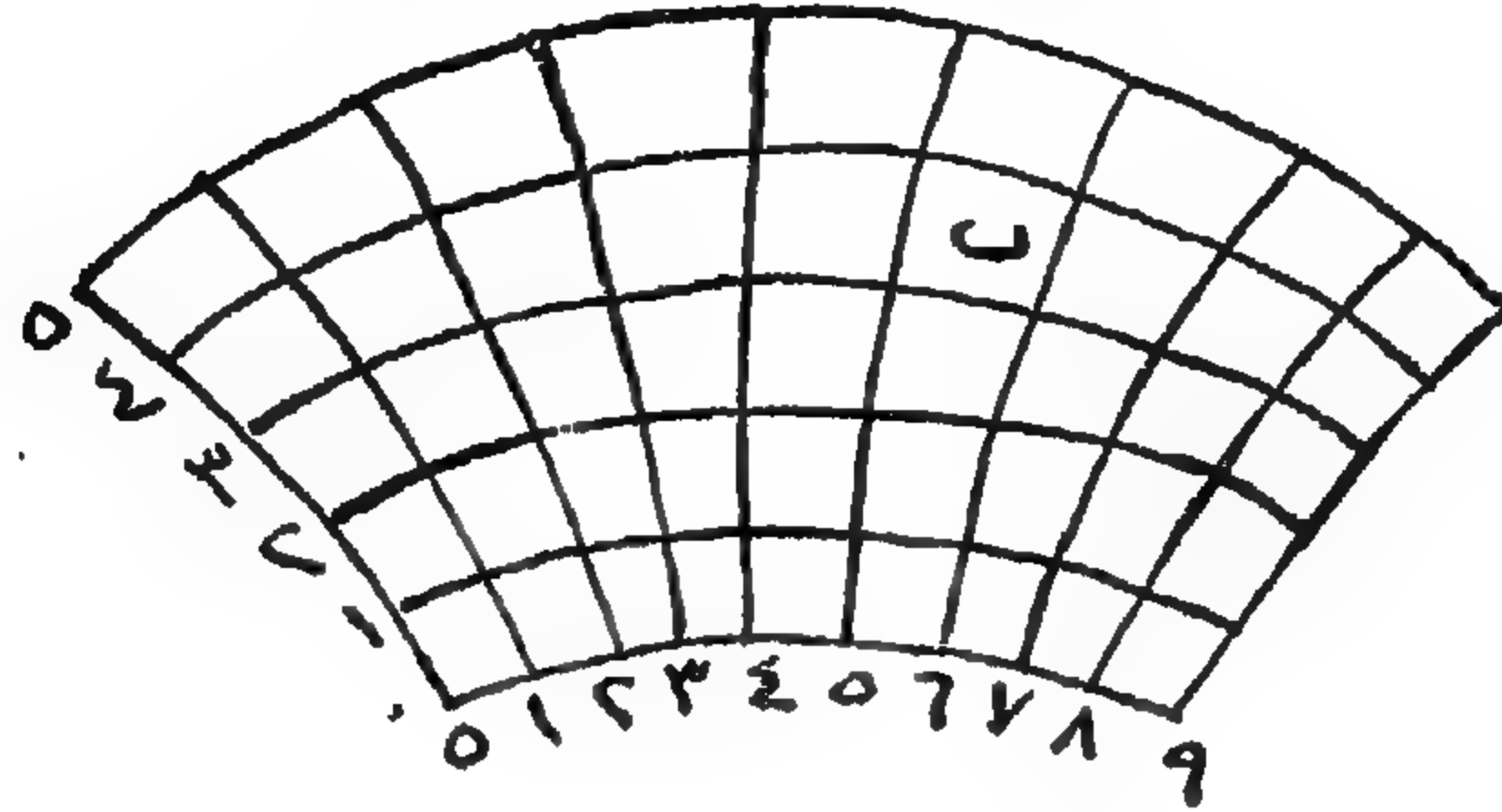
ولنفترض — لشرح كل التغيرات المشروعة في إحداثياتك — أنك أخذت



قطعة كبيرة من المطاط الهندي الناعم . وفي أثناء حالتها المتناسكة قس عليها مربعات صغيرة ، كل منها ضلعه $\frac{1}{4}$ من البوصة في كافة الاتجاهات . ضع دبائس صغيرة في أركان المربعات . تستطيع حينئذ أن تأخذ كإحداثيتين

لواحد من هذه الدبائيس ، عدد الدبائيس الذي يمر به حين تتجه يمينا من دبوس معين حتى نصل تحت الدبوس المذكور تماماً ، ثم عدد الدبائيس الذي يمر بها صاعدين إلى هذا الدبوس . ولتكن « م » في الشكل هو الدبوس الذي نبدأ به ،

و د ب ، هو الدبوس الذى سنحدد له الإحداثيتين و د ب ، فى العمود الخامس ،
والصف الثالث ، وهكذا يكون إحداثيته فى قطعة المطاط الهندى هما ٥ ، ٣ .



والآن ، خذ قطعة المطاط ، ومطها ، والوها كما تشاء . واجعل الدبابيس
الآن فى الصورة التى هى عليها فى الشكل الثانى . لم تعد التقسيمات الآن تمثل
المسافات وفقاً لأفكارنا المعتادة ، ولكنها ما برحت تستطيع القيام بدور
الإحداثيات . وما زلنا نستطيع أن نأخذ د ب ، على أن لها الإحداثيتين ٥ ، ٣ فى
مسطح المطاط ، وما زلنا نستطيع أن ننظر إلى قطعة المطاط على أنها سطح مستو ،
على الرغم من أننا قد لويناها فلم تعد سطحاً مستوياً بالمعنى الذى ألفناه ، مثل هذه
التشويهاة المتصلة لا تؤثر فى شيء .

خذ مثلاً آخر : بدلاً من استخدام قضيب من الصلب لتحديد إحداثياتنا ،
فلنستخدم ثعباناً حياً من السمك يتلوى طول الوقت . فلتسكن المسافة من ذيل
ثعبان السمك إلى رأسه هى رقم د ١ ، من وجهة نظر الإحداثيات . أيا كان الشكل
الذى يتخذه هذا الكائن فى هذه اللحظة . ثعبان سمك متصل ، والتواءاته مستمرة
ومن ثم يمكن اتخاذه وحدتنا للمسافة فى تحديد الإحداثيات . ومنهج تحديد
الإحداثيات — فيما عدا مطلب الاتصال — اتفاقى صرف ، ومن ثم فإن ثعباناً
من السمك لا يختلف عن قضيب من الصلب .

ونحن ميالون إلى التفكير بأنه من المستحسن — للحصول على قياسات
دقيقة حقاً — أن نستخدم قضيباً من الحديد ، بدلاً من ثعبان من السمك .
وهذا خطأ ، لأن ثعبان السمك ينبؤنا بما كان من المعتقد أن
ينبؤنا به قضيب الصلب ، ولكن لأن قضيب الصلب لا ينبؤنا حقاً بما يفعله

ثعبان السمك في وضوح . والمسألة ليست هي أن ثعابين السمك جامدة حقاً ، ولكن المسألة هي أن قضبان الصاب تتلوى حقيقة . وقد يبدو ثعبان السمك في حالة واحدة ممكنة من حالات الحركة — إنه جامد بالنسبة لمشاهد ما ، بينما قد يبدو له أن قضيب الصلب يتلوى كما يتلوى ثعبان السمك بالنسبة لنا تماماً ، ولكن شخصاً يتحرك حركة مختلفة بالنسبة لهذا المشاهد وبالنسبة لنا ، قد يبدو له أن ثعبان السمك والقضيب يتلويان . وليس هناك ما يدعو إلى القول بأن هذا المشاهد مصيب وذاك المشاهد مخطيء . ففي مثل هذه المسائل ما يشاهد لا ينتمي إلى العملية الفيزيائية الملحوظة فحسب ، بل ينتمي أيضاً إلى موقف المشاهد . ولا تكشف قياسات المسافات والأزمنة كشفاً مباشراً عن صفات الأشياء المقيسة ، واسكنها تكشف عن علاقات الأشياء بالشخص الذي يقيس ، وهكذا ما تستطيع المشاهدة أن تخبرنا به عن العالم الفيزيائي ، أشد تجريداً مما كان معتقداً من قبل .

ومن المهم أن ندرك أن الهندسة — كما كانت تعلم في المدارس منذ العصور اليونانية ، قد انقطعت عن الوجود بوصفها علماً منفصلاً واندجت الآن في الفيزياء . وقد كانت الفكرتان الرئيسيتان في الهندسة الأولية هما الخط المستقيم والدائرة . وما يبدو لك على أنه طريق مستقيم — توجد كل أجزائه الآن — قد تبدو لمشاهد آخر كطيران الصاروخ ، أو نوعاً من المنحنى الذي تظهر أجزاؤه في الوجود في صورة متعاقبة . وتعتمد الدائرة على قياس المسافات ما دامت تتألف من جميع النقط الموجودة على مسافة معينة من مركزها . وقياس المسافات عبارة — كما سبق أن رأينا — عن مسألة ذاتية تعتمد على الطريقة التي يتحرك بها المشاهد ، وإخفاق الدائرة في أن تكون لها صحة موضوعية قد برهنت عليه تجربة ميكلسون — مورلي ، وعلى هذا تكون — بمعنى ما — نقطة البداية لنظرية النسبية بأسرها . والأجسام الجامدة التي نحتاج إليها في القياس ليست جامدة إلا بالنسبة لمشاهدين معينين ، واسكنها بالنسبة للآخرين ستغير باستمرار أبعادها جميعاً . وخيانا العنيد المقيد بالأرض هو الذي يجعلنا نفترض إمكان قيام هندسة منفصلة عن الفيزياء .

وهذا هو السبب الذي يجعلنا لا نتردد في إضفاء دلالة فيزيائية على إحدائياتنا

منذ البداية . وقد كان من المفترض — سابقاً — أن الإحداثيات المستخدمة في الفزياء ، عبارة عن مسافات تم قياسها بعناية ، وقد تحققنا الآن من أن هذه العناية لا يحسب لها حساب في البداية ، وإنما تطلب في مرحلة متأخرة . وليست إحداثياتنا الآن أكثر من طريقة منتظمة لتصنيف الحوادث ، غير أن الرياضيات ، تزودنا — في منهج الكميات الممتدة tensors — بتكنيك قوى قوة هائلة . بحيث نستطيع أن نستخدم الإحداثيات المحددة بهذه الطريقة المهمة ظاهرياً ، في كفاءة ، وكأننا استخدمنا جهاز القياس الدقيق جداً في الوصول إليها . وميزة الطريقة الجزافية في البداية هي أنها تجعلنا نتحاشى وضع فروض فزيائية سريعة ، وهي فروض لا سبيل إلى تحاشيها إذا افترضنا أن لإحداثياتنا دلالة فزيائية أصلية معينة .

ولسنا بحاجة إلى محاولة التقدم . ونحن على جهل بكل الظواهر الفزيائية التي تدخل في نطاق المشاهدة . فنحن نعرف أشياء معينة : نعرف أن الفزياء النيوتونية القديمة قريبة جداً من الدقة عندما نختار إحداثياتنا بطريقة معينة ، ونحن نعرف أن نظرية النسبية الخاصة ما زالت أشد قرباً من الدقة للإحداثيات المناسبة . ومن هذه الحقائق نستطيع أن نستنبط أشياء معينة من إحداثياتنا الجديدة التي تبدو — في قياس منطقي — بوصفها مسلمات النظرية الجديدة .

ومن مثل هذه المسلمات نأخذ ما يلي :

(١) أن الفاصل بين حادثتين متجاورتين يأخذ شكلاً عاماً ، كالشكل الذي استخدمه ريمان للمسافات .

(٢) أن كل جسم يسير على خط جيوديسي في متصل الزمان — مكان اللهم إلا من حيث إن القوى التي لا تنتمي إلى الجاذبية لا تؤثر عليه .

(٣) أن شعاع الضوء يسير في خط جيوديسي بحيث يكون الفاصل بين أى جزءين فيه هو صفر .

وكل مسلمة من هذه المسلمات تتطلب شرحاً .

وتقتضي مسلمتنا الأولى أنه إذا كانت حادثتان قريبتان إحداها من الأخرى

(ولكنهما ليستا بالضرورة خلاف ذلك) فهناك فاصل بينهما يمكن أن يحسب من الفروق القائمة بين إحدائياتهما بمعادلة كالمعادلة التي عرضناها في الفصل السابق . وهذا معناه أن نأخذ مربعات ونواتج فروق الإحدائيات ، ونضاعفها بمقادير مناسبة (والتي تتغير عامة من مكان إلى آخر) ، ثم نضيف النتائج معاً . والمجموع الذي نحصل عليه هو مربع الفاصل . ونحن لا نفترض مقدماً أننا نعرف المقادير التي ينبغي أن تضاعف بها المربعات والنواتج ، فهذا ما سنكتشفه بملاحظة الظواهر الفيزيائية . ولكننا نعرف — لأن رياضيات ريمان قد بينت ذلك — أننا نستطيع داخل أية منطقة صغيرة من متصل المكان — زمان ، أن نختار الإحدائيات بحيث يكون للفاصل الشكل الخاص تماماً الذي نجده في نظرية النسبية الخاصة . وليس من الضروري لتطبيق النظرية الخاصة على منطقة محدودة ألا تكون ثمة جاذبية في المنطقة ، بل يكفي أن تكون شدة الجاذبية واحدة — من الوجهة العملية — في المنطقة كلها . . وهذا يمكننا من تطبيق النظرية الخاصة داخل أية منطقة صغيرة . أما مدى ما ينبغي أن تكون عليه من الصغر فيتوقف على المناطق المجاورة ، فعلى سطح الأرض ، ينبغي أن تكون من الصغر بحيث يمكن إهمال انحناء الأرض . وفي الفضاء الممتد بين الكواكب ، ينبغي أن تكون صغيرة بما يكفي أن يجعل جاذبية الشمس والكواكب ثابتة ثباتاً معقولاً في المنطقة كلها . وفي الفضاء المنبسط بين النجوم ، قد تكون هائلة — فلتكن مثلاً نصف المسافة من نجم إلى النجم الذي يليه — دون إدخال ضروب عدم الدقة التي يمكن قياسها .

وهكذا نستطيع — على مسافة بعيدة من المادة الجاذبة — أن نختار إحدائياتنا بحيث نحصل على ما يشبه المكان الإقليدي شهاً كبيراً ، وهذه طريقة أخرى لكي نقول إن نظرية النسبية الخاصة قابلة للتطبيق . وفي جوار المادة — على الرغم من أننا ما زلنا نجعل مكاننا قريباً من المكان الإقليدي في منطقة صغيرة جداً — فإننا لا نستطيع أن نفعل ذلك خلال أية منطقة تتنوع فيها الجاذبية تنوعاً محسوساً — أو على الأقل إذا فعلنا ذلك ، فعلياً أن نتخلى عن الرأي الذي عبرنا عنه في المسألة الثانية من أن الأجسام المتحركة تحت تأثير قوى جاذبة تتحرك في خطوط جيوديسية فحسب .

وقد رأينا الخطوط الجيوديسية على سطح ما هي أقصر خط يمكن أن يرسم على السطح من نقطة إلى أخرى ، فمثلا الخطوط الجيوديسية على الأرض عبارة عن دوائر عظمى ، وحين نأتي إلى متصل المكان — زمان ، فإن الرياضيات هي نفسها ، بيد أن الشروح اللفظية هي التي تختلف نوعاً ما ، وفي نظرية النسبية العامة ، الحوادث المتجاورة هي التي يكون لها وحدها فاصل محدد مستقل عن الطريق الذي نسلكه للانتقال من الواحدة إلى الأخرى . أما الفاصل بين الحوادث المتباعدة فيتوقف على الطريق الذي نسلكه ، ولا بد أن يحسب بتقسيم الطريق إلى عدد من الأجزاء الصغيرة ثم بإضافة الفواصل الخاصة بهذا العدد من الأجزاء الصغيرة . فإذا كان الفاصل مكانياً ، لن يستطيع الجسم أن ينتقل من حادثة إلى أخرى ، وعلى هذا فإننا حين نكون بصدد الطريق الذي تتحرك فيه الأجسام ، تقتصر على الفواصل الزمانية ، وسيبدو الفاصل بين حادثتين متجاورتين حين يكون زمانياً ، على أنه الزمن المنقضى بينهما في نظر ملاحظ سافر من إحدى الحادثتين إلى الأخرى . وهكذا سيحكم الشخص الذي ينتقل من حادثة إلى الأخرى على الفاصل كله بين الحادثتين على أنه ما تظهره ساعاته على أنه الوقت الذي يستغرقه في رحلته . وسيكون هذا الوقت أطول بالنسبة لبعض الطرق . وأقصر بالنسبة لبعضها الآخر . وكلما كان سفر الرجل أبطأ ، اعتقد أن الوقت الذي استغرقه في رحلته أطول . ولكن لا ينبغي أن يؤخذ هذا القول على أنه جد سخافة ، فلست أقول إنك حين تسافر من لندن إلى إدنبرة فسيكون الوقت الذي تستغرقه أطول إذا سافرت بسرعة أبطأ ، ولكنني أقول شيئاً أغرب من ذلك كثيراً . إنني أقول إنك إذا غادرت لندن في الساعة العاشرة صباحاً ووصلت إلى إدنبرة في الساعة السادسة والنصف بعد الظهر — بتوقيت جريتش ، كلما كان سفرك أبطأ كان الوقت الذي تستغرقه أطول ، إذا حكمت على الزمن بساعتك وهذه قضية مختلفة أشد الاختلاف . فإنه من وجهة نظر شخص على الأرض ، تستغرق رحلتك ثمانى ساعات ونصفاً . ولكن ، لو أنك كنت شعاعاً من الضوء يدور حول النظام الشمسي ، ويبدأ من لندن في الساعة العاشرة صباحاً ، وينعكس من المشتري إلى زحل ، وهكذا دواليك ، حتى ترتد في النهاية إلى أدنبرة ، ووصلت هناك في الساعة السادسة والنصف مساءً ، فسوف تحكم بأن الرحلة لم تستغرق أى

زمن على الإطلاق . وإذا سلكت أى طريق دائرى ، أمكنك أن تصل فى الموعد المحدد لسفرك بسرعة ، فكلما كان طريقك أطول ، كان الوقت الذى تحكم بأنك قطعته أقل ، وسيكون تقليل الزمان مستمرا كلما اقتربت سرعته من سرعة الضوء . والآن ، أقول إنه حين يتحرك جسم ، وحين يترك لنفسه ، فإنه يختار الطريق الذى يجعل الزمن بين مرحلتين من مراحل الرحلة أطول ما يمكن . وإذا انتقل من حادثة إلى أخرى بأى طريق آخر ، فإن الزمن ، كما يقيسه بساعاته الخاصة لا بد أن يكون أقصر . وهذه طريقة تؤدي إلى القول بأن الأجسام إذا تركت لنفسها فإنها تقوم برحلاتها بأبطأ ما فى وسعها ، إنه نوع من قانون الخمول الكونى . وتعبيره الرياضى هو أن الأجسام تنتقل فى خطوط جيوديسية يكون فيها الفاصل الإجمالى بين أية حادتين فى الرحلة ، أكبر من أى طريق بديل . (وترجع حقيقة أنه أكبر وليس أقل إلى أن نوع الفاصل الذى نحن بصدده أشد مماثلة للزمان منه للمسافة .) وإذا استطاع شخص — مثلا — أن يغادر الأرض ، ويسافر فترة ، ثم يعود ، فإن الزمن المنقضى بين رحيله وعودته سيكون أقل إذا سجلته ساعات الأرض : فالأرض فى رحلتها حول الشمس تختار الطريق الذى يجعل زمن أى جزء من رحلتها — مقبىا بساعاتها — أطول من أى زمن ، تحكم به الساعات التى تتحرك فى طريق مختلف . وهذا ما نعينه بقولنا إن الأجسام إذا تركت لنفسها فإنها تتحرك فى خطوط جيوديسية فى متصل الزمان — مكان .

ومن المهم أن نتذكر أن متصل « الزمان — مكان » ليس من المفروض أن يكون إقليدياً . ومن حيث إن الأمر يتعلق بالخطوط الجيوديسية فإن هذا يؤدي إلى أن متصل « الزمان — مكان » ، أشبه بالريف الجبلى . فإلى جوار قطعة من المادة ، هناك تل من « الزمان — مكان » ، وهذا التل يزداد انحداراً كلما اقترب من القمة ، كعنق زجاجة الشمبانيا ، وينتهى إلى مجرد هوة . والآن ، فإنه وفقاً لقانون الخمول الكونى الذى ذكرناه آنفاً — فإن جسماً يأتى إلى جوار التل ، لن يحاول أن يصعد مباشرة إلى القمة ، ولكنه سيدور حول التل . هذه هى ماهية رأى أينشتين فى الجاذبية . فما يفعله جسم ما ، فإنما يفعله بسبب طبيعة «متصل الزمان — مكان » فى المنطقة المجاورة له ، لا بسبب قوة غامضة تنبعث من جسم بعيد .

وربما استطاعت هذه المائلة أن تجعل هذه النقطة واضحة... فلنفترض أن عدداً من الرجال — يسرون في ليلة مظلمة — وقد حملوا المصابيح في أيديهم في اتجاهات شتى عبر سهل متسع الأرجاء ، ولنفترض أنه في جزء من هذا السهل هناك تل قد وضعت على قمته منارة متوهجة . وهذا التل هو كما وصفناه — يزداد انحداراً كلما ارتفع نحو القمة ، وينتهي بهاوية . وسأفترض أن هناك قرى متناثرة على هذا التل ، وأن هؤلاء الرجال الذين يحملون المصابيح يذرعون هذه القرى ذهاباً وإياباً . ولقد شقت المسالك لتبين أسهل طريقة للانتقال من قرية إلى أخرى — وهذه المسالك أقل أو أكثر انحناء ، حتى تتحاشى التوغل في التل ، وستكون أشد حدة في الانحناء حين تمر بالقرب من قمة التل ، منها حين تباعد عنه مسافة ما ، ولنفترض الآن أنك تلاحظ هذا كله — بأقصى ما في وسعك — من مكان مرتفع في بالون ، بحيث لا تستطيع أن ترى الأرض ، وإنما ترى المصابيح والمنارة فحسب ، وحينئذ إن تعرف أن هناك تلا ، أو أن هناك منارة فوق قمته ، بل ستري أن الناس يتحولون عن الطريق المستقيم حين يقتربون من المنارة ، وكلما ازداد اقترابهم ازداد تحوّلهم عنها . ومن الطبيعي أن تعزو ذلك إلى تأثير المنارة ، وربما اعتقدت أنها ساخنة جداً ، وأن الناس يخشون الاحتراق منها . ولكنك إذا انتظرت ضوء النهار ، فسوف ترى التل ، وستجد أن المنارة تميز قمة التل فحسب ، وأنها لا تؤثر على حامل المصباح أي تأثير .

وفي هذا التشبيه ، تناظر المنارة الشمس ، ويناظر حاملو المصابيح الكواكب والشهب ، والمسالك تناظر أفلاك الكواكب والشهب ، وظهور ضوء النهار يناظر مجيء أينشتين . ويقول أينشتين إن الشمس على قمة تل ، كل ما في الأمر أن هذا التل في متصل الزمان — مكان ، لا في المكان وحده . (وأنا أنصح القارئ ألا يصور لنفسه هذا القول ، لأنه مستحيل .) وكل جسم يتخذ في كل لحظة — أيسر طريق مفتوح له ، نظراً لوجود التل ، فإن أيسر طريق ليس خطاً مستقيماً ، وكل قطعة صغيرة من المادة قائمة على قمة تلها الصغير ، كالديك الواقف على كومة من الروث . وما نسميه قطعة كبيرة من المادة عبارة عن قمة تل كبير . والتل هو ما نعرفه ، أما قطعة المادة الموجودة على القمة فنفتريها إشاراً للراحة . وربما لم تكن ثمة حاجة حقيقية لافتراضها ، وكنا نستطيع أن نكتفي بالتل

وحده ، لأننا لن نستطيع أن نصعد إلى قمة تل أى شخص آخر ، تماماً كما لا يستطيع الديك الشرس أن يقاتل الطائر المثير على وجه الخصوص — الذى يراه فى المرأة .

ولقد أعطيت وصفاً كيفياً فحسب لقانون أينشتين فى الجاذبية ، أما أن أعطي صيغتها السكمية المضبوطة ، فأمر محال لا أسمح به لنفسى دون مزيد من الرياضة . وأطرف نقطة فى هذه الصيغة هى أنها لا تجعل القانون نتيجة للتأثير عن بعد ، فالشمس لا تؤثر بأية قوة على الكواكب . وكما أن الهندسة قد أضحت فزياء ، فكذلك ، أصبحت الفزياء بمعنى ما — هندسة . ولقد أصبح قانون الجاذبية هو القانون الهندسى القائل بأن كل جسم يسلك أسهل سبيل من مكان إلى مكان ، غير أن هذا السبيل يتأثر بالتلال والوديان التى يلتقى بها فى الطريق .

ولقد اقترضنا أن الجسم — موضع البحث — لا تؤثر عليه إلا قوى الجاذبية فحسب ، ونحن مهتمون فى الوقت الحاضر بقانون الجاذبية ، لا بتأثيرات القوى الكهرومغناطيسية ، أو القوى الموجودة بين جسيمات الذرة الثانوية . وقد بذلت محاولات عديدة لإدخال تلك القوى جميعاً داخل إطار نظرية النسبية العامة على يد أينشتين نفسه ، وعلى يد فيل Weyl وكالوتسا Kaluza وكلاين Klein وكثيرين غيرهم ، بيد أن واحدة من هذه المحاولات لم تكن مرضية تماماً . ويمكن أن تتجاهل فى الوقت الحاضر — هذه الأعمال ، لأن — الكواكب ليست موضوعاً — بوصفها وحدات كلية — لقوى كهرومغناطيسية أو ذرية ثانوية يمكن تقديرها ؛ وإنما يجب أن يحسب حساب الجاذبية وحدها فى حساب حركاتها ، وهى الحركات التى تعرضنا لها فى هذا الفصل .

ومسألتنا الثالثة القائلة بأن شعاع الضوء يتحرك بحيث يكون الفاصل بين جزئين منه هو صفر ، هذه المسألة لها ميزة وهى أنها يمكن ألا تطلق على المسافات الصغيرة ، فحسب . فإذا كان كل جزء صغير من البرهة هو صفر ، فإن مجموع الأجزاء جميعاً يساوى صفرأ ، وهكذا تكون الأجزاء البعيدة من نفس شعاع الضوء ذات فاصل مقداره صفر . والطريق الذى يسلكه شعاع الضوء هو خط جيوديسى أيضاً ، وفقاً لهذه المسألة . وهكذا نجد لدينا الآن وسيلتين تجريديتين

للكشف عما تعنيه الخطوط الجيوديسية في متصل الزمان — مكان ، ، هما أشعة الضوء ، والأجسام التي تتحرك في حرية . ومن بين الأجسام ذات الحركة المتحررة تدخل جميع الأجسام التي ليست خاضعة — بوصفها وحدات كلية — لقوى كهرومغناطيسية أو ذرية ثانوية يمكن تقديرها ، أعني الشمس والنجوم والكواكب والأقار التابعة وكذلك الأجسام الساقطة على الأرض ، حين تقع على أقل تقدير — في فراغ ، . وأنت حين تقف على الأرض ، تكون خاضعاً لقوى كهرومغناطيسية : ذلك أن الإلكترونات والبروتونات المجاورة لقدميك تمارس قوة «طاردة» على قدميك كافية للتغلب على جاذبية الأرض . وهذا ما يمنعك من السقوط خلال الأرض ، التي ، وإن تكن تبدو صلبة ، إلا أنها في معظمها مكان خاو .

الفصل التاسع

براهين على قانون أينشتاين للجاذبية

الاسباب التي تدعو إلى قبول قانون أينشتاين للجاذبية بدلا من قانون نيوتن ، تجريدية في جزء منها ، منطقية في جزئها الآخر ، وسنبدا بالجزء التجريبي .

يعطى قانون أينشتاين للجاذبية نفس النتائج التي يعطيها قانون نيوتن عندما يطبق على حساب أفلاك الكواكب وتوابعها . ولو لم تكن كذلك ، لما أمكن أن تكون صادقة ، مادامت النتائج المستنبطة من قانون نيوتن قد وجد أنها مضبوطة بعد التحقق من صدقها بالمشاهدة . وحين نشر أينشتاين قانونه الجديد لأول مرة عام ١٩١٥ ، لم تكن هناك غير واقعة تجريدية واحدة يستطيع أن يثبت بها أن نظريته أفضل من نظرية نيوتن ، وهذه الواقعة هي ما يسمى حركة نقطة رأس عطارد .

ويدور الكوكب عطارد — كغيره من الكواكب السيارة — حول الشمس في قطع ناقص بحيث تكون الشمس في إحدى البؤرتين . ولهذا فإنه في بعض النقط من فلكه يكون أقرب إلى الشمس منه في النقاط الأخرى . والنقطة التي يكون فيها أقرب ما يكون إلى الشمس تسمى «نقطة الرأس» ، perihelion ، وقد وجد بطريق المشاهدة — من إحدى المناسبات حين يكون عطارد أقرب ما يكون إلى الشمس حتى المناسبة التالية — وجد أن عطارد لا يدور مرة واحدة تماما حول الشمس ، بل أكثر قليلا . وهذا الانحراف طفيف جداً ، إذ يصل إلى زاوية مقدارها اثنتان وأربعون ثانية كل قرن من الزمان . ولما كان عطارد يدور حول الشمس ما يزيد على أربعائة مرة كل قرن ، فلا بد أن يتحرك بما يزيد على ثمانية من الزاوية عن الدورة الكاملة لكي يصل من نقطة الرأس ، إلى نقطة الرأس التالية . وقد حار الفلكيون في هذا الانحراف الطفيف جداً عن نظرية نيوتن . وكان هناك تأثير محسوب يرجع إلى اضطرابات تحدثها الكواكب الأخرى ، بيد أن هذا الانحراف الطفيف كان المتبقي بعد حساب هذه الاضطرابات . وقد فسرت نظرية

أينشتين هذا المتبقى تفسيراً مضبوطاً . وهناك تأثير مماثل في حالة الكواكب الأخرى ، بيد أنه أقل ، وأصعب على المشاهدة . ومنذ أن نشر أينشتين قانونه الجديد ، لوحظ هذا التأثير أيضاً بالنسبة للأرض ، وبدرجة معقولة من اليقين بالنسبة للريخ . وكان تأثير نقطة الرأس هذا هو — في أول الأمر — الميزة التجريبية الوحيدة التي تفوق بها أينشتين على نيوتن .

وكان نجاحه الثاني أشد من ذلك إثارة . فالضوء في الفراغ ينبغي أن يتحرك دائماً — وفقاً للرأى التقليدي — في خطوط مستقيمة ، ولما لم يكن مؤلفاً من جسيمات مادية ، فينبغي ألا يتأثر بالجاذبية وأياً كان الأمر ، فقد كان من الممكن ، دون خروج خطير على الأفكار القديمة — أن تقبل أن ينحرف الضوء — في عبوره قرب الشمس — عن طريقه المستقيم بنفس الدرجة التي ينحرف بها لو أنه كان مؤلفاً من جسيمات مادية . وقد ذهب أينشتين — على أية حال — إلى أن الضوء ينبغي أن ينحرف ضعف هذا الانحراف ، مستنتجاً ذلك من قانونه في الجاذبية . وهذا معناه ، لو أن الضوء المنبعث من نجم مر قريباً جداً من الشمس ، فإن أينشتين يرى أن الشعاع المنبعث من النجم سيتحول خلال زاوية مقدارها أقل من ثانية وثلاثة أرباع الثانية . وكان خصومه على استعداد لقبول نصف هذا المقدار . ولكن ، ليس من الممكن أن نرى كل يوم نجماً يكاد يكون في خط واحد مع الشمس ، وإنما لا يكون ذلك ممكناً إلا في أثناء كسوف كلى ، بل إنه قد لا يكون ممكناً دائماً في هذه الحالة ، إذ قد لا تكون هناك نجوم لامعة في الموقع الصحيح . وقد ذكر إدنجتون أن أفضل يوم في العام — من وجهة النظر هذه — هو يوم ٢٩ مايو ، إذ يوجد حينذاك عدد من النجوم المتألقة القريبة من الشمس . وحدث — من قبيل حسن الحظ الذي لا يكاد يصدق — كسوف كلى للشمس يوم ٢٩ مايو سنة ١٩١٩ . وصورت بعثتان بريطانيتان النجوم القريبة من الشمس في أثناء الكسوف ، وأيدت النتائج تنبؤ أينشتين . واقتنع بعض الفلاسكيين الذين ظلوا يرتابون فيما إذا كانت الاحتياطات الكافية قد اتخذت لضمان الدقة . . اقتنعوا حين أعطت مشاهداتهم الخاصة في كسوف تال نفس النتيجة تماماً . وقد أكدت نتائج المشاهدات في عديد من الحالات التالية من الكسوف تقدير أينشتين الذي أصبح الآن مقبولاً من الجميع .

والاختيار التجريبي الثالث مؤيد في جملة لاينشتين ، بيد أن المقادير — موضع الاختبار — صغيرة إلى درجة أنه من الممكن بصعوبة قياسها فحسب ، ولهذا فإن النتيجة ليست حاسمة . وقبل أن نشرح هذا التأثير ، لابد من شروح تمهيدية قليلة . يتألف طيف عنصر من العناصر من عدد معين من خطوط الضوء ذات شتى الألوان التي تنبعث من العنصر حين يتوهج ، ويمكن فصلها بمنشور . وهذه الخطوط هي نفسها (على وجه التقريب الشديد) سواء أكان العنصر على الأرض ، أم على الشمس ، أم على نجم من النجوم . وكل خط عبارة عن ظل محدد من اللون ، بموجة محددة ذات طول معين . والموجات الأطول تتجه نحو الطرف الأحمر للطيف ، والأقصر نحو الطرف البنفسجي . وحين يكون مصدر الضوء متحركاً نحوك فإن أطوال الموجات الظاهرة تزداد قصراً ، كما تزداد سرعة موجات البحر عندما تكون مبحراً ضد الريح . وحين يكون مصدر الضوء متحركاً بحيث يبتعد عنك ، فإن أطوال الموجات الظاهرة تزداد طولاً ، للسبب عينه . وهذا يمكننا من معرفة ما إذا كانت النجوم تتحرك نحونا ، أو بعيداً عنا . ذلك أنها إذا كانت تتحرك نحونا ، فإن خطوط الطيف جميعاً لعنصر ما ، تتحرك قليلاً صوب البنفسجي ، وإذا كانت تتحرك بعيداً عنا ، فإن تلك الخطوط تتحرك صوب الأحمر . وقد تلحظ ذات يوم تأثيراً مماثلاً للصوت ، فإذا كنت في محطة ، وأقبل قطار وهو يصفر ، فإن نجمة الصفارة تبدو أشد حدة حين يقترب منك القطار ، منها حين يكون قد مر . ومن المحتمل أن كثيراً من الناس يعتقدون أن النجمة قد تغيرت حقيقة ، والواقع أن التغيير الذي تسمعه راجع إلى أن القطار كان يقترب أولاً ، ثم يبتعد . أما بالنسبة لراكبي القطار ، فليس ثمة تغيير في النجمة . وليس هذا هو التأثير الذي يهتم به أينشتين . فالمسافة بين الشمس والأرض لا تتغير كثيراً ، ويمكن أن ننظر إليها — بالنسبة لأغراضنا الحالية — على أنها ثابتة . ويستنتج أينشتين من قانونه في الجاذبية أن أية عملية دورية تأخذ مكانها في ذرة ما من الشمس (التي تعد جاذبيتها شديدة جداً) ينبغي — كما تقاس بساعاتنا — أن تحدث بسرعة أبداً قليلاً من السرعة التي تحدث بها في ذرة مماثلة على الأرض . ووه الفاصل ، المتعلق بالموضوع سيكون هو نفسه بالنسبة للشمس والأرض على السواء ، غير أن نفس

الفاصل في مناطق مختلفة لا يناظر نفس الوقت تماماً ، وهذا راجع للطبيعة «الجبابية» التي يتسم بها متصل «المكان — زمان» ، وهو الذي يوافق الجاذبية . وبالتالي ، فإنه لا بد لأي خط معين في الطيف — عندما يأتي الضوء من الشمس — أن يبدو لنا أقرب قليلاً إلى الطرف الأحمر للطيف ، منه حين يكون قادماً من مصدر على الأرض . والتأثير الذي نتوقعه ضئيل جداً — ضئيل جداً إلى درجة أن عدم اليقين من وجوده أو عدم وجوده ما برح قائماً . وتتنبأ نظرية أينشتين بتأثير مماثل لكل نجم ، غير أن الصعوبات التكنيكية لقياس هذا التأثير عظيمة إلى درجة أننا بعد أربعين سنة من تجميع المشاهدات مازلنا لا نستطيع التأكد من وجوده ...

ولم تسكشف منذ ذلك الحين — أية اختلافات قابلة للقياس بين نتائج قانون أينشتين ونتائج قانون نيوتن ، على الأقل ، فيما يتعلق بالنظام الشمسي . بيد أن الاختبارات التجريبية السابقة كافية لإقناع الفلكيين بأنه حيث يختلف نيوتن وأينشتين على حركة الأجرام السماوية ، فإن قانون أينشتين هو الذي يعطي النتائج الصحيحة . وحتى لو قامت الأسس التجريبية المؤيدة لأينشتين وحدها ، فإنها مع ذلك حاسمة . وسواء أكان قانونه يمثل الحقيقة المضبوطة تماماً أم لا ، فإنه بكل تأكيد أقرب إلى الدقة من قانون نيوتن ، وإن تكن ضروب عدم الدقة في قانون نيوتن ضئيلة كلها إلى أقصى حد .

غير أن الاعتبارات التي قادت في الأصل أينشتين إلى قانونه لم تكن من هذا النوع التفصيلي . وحتى النتيجة الخاصة بنقطة رأس الكوكب عطارد ، التي أمكن التحقق من صدقها في الحال بوساطة المشاهدات السابقة ، لا يمكن استنتاجها إلا بعد اكتمال النظرية ، كما أنها لا يمكن أن تكون أي جزء من الأسس الأصلية لابتكار مثل هذه النظرية . فقد كانت هذه الأسس ذات طابع منطقي أشد تجريداً . ولا أعني بذلك أنها لم تكن مؤسسة على حقائق مشاهدة ، كما لا أعني أنها كانت تهويمات «قبلية» *a priori* كالتهويمات التي انغمس فيها الفلاسفة في عصور سابقة ، وإنما ما أعنيه هو أنها مشتقة من سمات عامة معينة تتصف بها التجربة الفيزيائية ، سمات بينت أن نيوتن لا بد أن يكون مخطئاً ، وأن قانوناً كقانون أينشتين «يجب» أن يحل محله ،

والحجج المؤيدة لنسبية الحركة — هي كما رأينا في الفصول الأولى — حاسمة تماماً . ففي الحياة اليومية ، عندما نقول إن شيئاً ما يتحرك ، فإننا نعني أنه يتحرك بالنسبة للأرض ، وحين نتعرض لحركات الكواكب ، فإننا ننظر إليها بوصفها متحركة بالنسبة للشمس ؛ أو لمركز كتلة النظام الشمسي . وعندما نقول إن النظام الشمسي نفسه يتحرك ، فإننا نقصد أنه يتحرك بالنسبة للنجوم . وليست هناك واقعة فيزيائية يمكن أن نطلق عليها اسم « الحركة المطلقة » ، ومن ثم ، ينبغي أن تعني الفزياء بالحركات النسبية ، مادامت هذه الحركات هي النوع الوحيد الذي يحدث .

سنأخذ الآن نسبية الحركة في ارتباطها بالواقعة التجريبية التي مؤداها أن سرعة الضوء هي نفسها بالنسبة لجسم ، أو بالنسبة لآخر ، أي كانت حركة هذين الجسمين . وهذا يؤدي بنا إلى نسبية المسافات والأزمنة . وهذا بدوره يبين أنه لا وجود لواقعة فيزيائية موضوعية يمكن أن تسمى « المسافة بين جسمين في زمن معين » ، مادام كل من الزمان والمسافة سيعتمد على المشاهد . وعلى هذا فإن قانون نيوتن للجاذبية متهاافت من الناحية المنطقية ، مادام يستخدم عبارة « المسافة في زمن معين » .

وهذا يبين لنا أننا لا نستطيع أن نظل قانعين بنيوتن ، ولكننا لا يبين لنا ماذا نستطيع أن نضع مكانه . وهنا تتدخل عدة اعتبارات ، فلدينا في المقام الأول ما يسمى « مساواة كتلة الجاذبية والقصور الذاتي » ، وهذا يعني الآتي : عندما تستخدم قوة معينة (١) للتأثير على جسم ثقيل ، فإنك لا تعطيه من السرعة ما تعطيه لجسم خفيف . وما يسمى كتلة القصور الذاتي inertial للجسم تقاس بمقدار القوة المطلوبة لإحداث سرعة معينة . و « الكتلة » — في نقطة معينة على سطح

(١) على الرغم من أن « القوة » لم تعد واحدة من التصورات الأساسية في علم الديناميكا بل مجرد طريقة مريحة للكلام ، فإنه مازال من الممكن استخدامها كعبارتي « شروق الشمس » و « غروب الشمس » على شرط أن نكون مدركين لما نعنيه . ذلك أن الأمر يتطلب في كثير من الأحيان تعبيرات مثقوبة لجدا لتعاشي كلمة (قوة) .
المؤلف

الأرض — تتناسب مع « الوزن » . وما يقاس بالموازين هو الكتلة ، لا الوزن : والوزن يعرف بأنه القوة التي تجذب بها الأرض الجسم . وهذه القوة أعظم عند القطبين منها عند خط الاستواء ، لأن دوران الأرض عند خط الاستواء يحدث قوة طاردة مركزية مضادة للجاذبية إلى حد ما . وقوة جذب الأرض أعظم أيضاً على سطح الأرض منها على ارتفاع كبير أو في داح منجم شديد العمق . ولا تظهر الموازين شيئاً من هذه التنوعات ، لأنها تؤثر على الأوزان المستخدمة تأثيرها على الجسم الموزون : ولكنها تظهر إذا استخدمنا ميزاناً زنبركياً . أما الكتلة فلا تتغير خلال هذه التغيرات في الوزن .

وتعرف الكتلة الجاذبة تعريفاً مختلفاً . وهي قابلة لمعنيين : فقد تعني (١) الطريقة التي يتجاوب بها جسم ما في موقف تكون فيه الجاذبية معروفة الشدة ، مثل سطح الأرض أو سطح الشمس ، أو قد تعني (٢) شدة القوة الجاذبة التي يحدثها الجسم ، كأن تحدث الشمس قوى جاذبة أقوى مما تحدثه الأرض . ويقول نيوتن إن قوة الجاذبية بين جسمين تتناسب مع حاصل ضرب كتلتيهما . فلننظر الآن في جذب الأجسام المختلفة لجسم واحد بعينه ، وليكن الشمس ، في هذه الحالة تجذب الأجسام المختلفة بقوى تتناسب مع كتلتها ، وتحدث — من ثم ، نفس السرعة فيها جميعاً . وهكذا إذا كنا نقصد « الكتلة الجاذبة » بالمعنى (١) ، أى الطريقة التي يتجاوب بها الجسم مع الجاذبية ، فإننا نجد أن « مساواة كتلة القصور الذاتي وكتلة الجاذبية » — التي تبدو شيئاً هائلاً — وقد استحالت إلى هذا : إنه في موقف جاذبي معين ، تسلك الأجسام جميعاً سلوكاً واحداً بعينه . وقد كان هذا الكشف — بالنسبة لسطح الأرض — من أول الكشف التي قام بها جاليليو . وكان أرسطو يعتقد أن الأجسام الثقيلة تسقط بسرعة أكبر من الأجسام الخفيفة . وأثبت جاليليو أن الأمر ليس كذلك إذا حذفت مقاومة الهواء . فالريشة تسقط — في الفراغ — بسرعة كتلة من الرصاص . أما فيما يتعلق بالكواكب — فقد كان نيوتن هو الذي أقر الحقائق المتناظرة . فالشهاب الذي له كتلة صغيرة جداً ، يعاني نفس السرعة — إذا كان على مسافة معينة من الشمس — متجهاً نحو الشمس ، التي يعانيها كوكب على نفس المسافة . وهكذا تتوقف الطريقة التي

تؤثر بها الجاذبية على جسم ما — تتوقف على المكان الذي يوجد فيه الجسم فحسب ،
لأعلى طبيعة الجسم بحال من الأحوال — وهذا يوحي بأن تأثير الجاذبية سمة من
سمات « المحلية » التي هي ما يصنعها أينشتين .

أما فيما يتعلق بالسكتلة الجاذبة بالمعنى (٢) الخاص بشدة القوة التي يحدثها
جسم ما ، فإن هذه لم تعد متناسبة « تماماً » مع كتلتها من حيث القصور الذاتي .
وتقتضى هذه المسألة الإلمام برياضيات معينة ، ولهذا سأمتنع عن
الخوض فيها (١) .

ولدينا إشارة أخرى إلى النوع الذي « ينبغي » أن يكون عليه قانون الجاذبية ،
هذا إذا كان سمة من سمات الجوار ، كما رأينا السبب الذي يدعونا إلى افتراض
ذلك . فلا بد أن يتم التعبير عنه في قانون لا يتغير حين تتخذ نوعاً مختلفاً من
الإحداثيات . ورأينا أنه لا ينبغي علينا — كبداية — أن ننظر إلى إحداثياتنا على
أنها تمتلك أية دلالة فيزيائية : فهي مجرد طرائق منظمة لتسمية الأجزاء المختلفة
من متصل الزمان — مكان . ولما كانت « مجرد اصطلاح » Conventional فهي
لا يمكن أن تدخل في القوانين الفيزيائية وهذا معناه القول بأننا إذا عبرنا عن
قانون تعبيراً صحيحاً في حدود مجموعة من الإحداثيات ، فانه ينبغي أن يتم التعبير
عنه بنفس الصيغة في حدود مجموعة أخرى من الإحداثيات . أو إن شئنا
مزيداً من الدقة — لابد أن يكون من الممكن إيجاد صيغة تعبر عن القانون ،
ولا تتغير بتغير الإحداثيات ، ومن مهمة نظرية الكميات الممتدة أن تتناول مثل
هذه الصيغ . وثبتت هذه النظرية أن هناك صيغة واحدة ، توحي في جلاء بأنها
من المحتمل أن تكون قانون الجاذبية . وحين تفحص هذه إمكانية نجد أنها
تعطى النتائج الصحيحة ، وهنا تتدخل التأكيدات التجريبية ، ولكن ، إذا
كنا لم نجد أن قانون أينشتين متفق مع التجربة ، لما استطعنا — مع ذلك —
أن نرجع إلى قانون نيوتن ، ونسكون مرغمين حينذاك بوساطة المنطق

(١) انظر . أدنجتون ، « النظرية الرياضية للنسبية » الطبعة الثانية ،

على البحث عن قانون يتم التعبير عنه في حدود الكميات الممتدة ومن ثم يكون مستقلا عن اختيارنا للإحداثيات . ومن المحال — بدون الرياضة — أن نشرح نظرية الكميات الممتدة ، وينبغي أن يقنع الشخص غير الرياضي بأن يعرف أنها المنهج التكنيكي الذي نحذف به العنصر الاتفاسي من قياساتنا وقوانيننا ، وعلى هذا النحو نصل إلى قوانين فيزيائية مستقلة عن وجهة نظر المشاهد . ويعد قانون أينشتاين للجاذبية أروع مثل على هذا المنهج .

الفصل العاشر

الكتلة وكمية التحرك والطاقة والفعل

السعي وراء الدقة السكينة ملح بقدر ما هو هام . والقياسات الفزيائية تجري بدقة غير عادية ، فلو أنها أجريت في عناية أقل لما اكتشفت قط الانحرافات الطفيفة التي تتألف منها المعطيات التجريبية لنظرية النسبية . وقد كانت الفزياء الرياضية تستخدم — قبل ظهور النسبية — مجموعة من التصورات التي كان من المفروض أن تكون دقيقة دقة القياسات الفزيائية ، غير أن الأمر تكشف عن أنها كانت معيبة من الناحية المنطقية ، وأن هذه العيوب قد أظهرت نفسها في الانحرافات الطفيفة جداً عن التوقعات القائمة على الحساب . وفي هذا الفصل أريد أن أبين كيف تأثرت الأفكار الأساسية في الفزياء قبل — النسبية ، وما هي التعديلات التي ينبغي أن تطرأ عليها .

لقد أتاحت لنا من قبل فرصة الحديث عن الكتلة . والكتلة — تمشياً مع أغراض الحياة اليومية — هي نفسها الوزن ، ومقاييس الوزن العادية من أوقيات وجرامات . . . إلخ — هي حقا مقاييس الكتلة . ولكننا ، ما أن نبدأ بإجراء قياسات دقيقة ، حتى نجد أنفسنا مرغمين على التفرقة بين الكتلة والوزن . وهناك منهجان مختلفان للوزن في الاستعمال العادي ، أحدهما بالموازين (العادية) ، والآخر بالميزان الزنبركي . وحين تقوم برحلة ، ويوزن متاعك ، لا يوضع هذا المتاع على ميزان بكفتين ، بل على ميزان زنبركي ، والوزن يضغط على الزنبرك بمقدار معين ، وتظهر النتيجة بوساطة إبرة على قرص مرقوم . وهذا المبدأ نفسه مستخدم في الآلات الأوتوماتيكية للحصول على وزنك . والميزان الزنبركي يبين الوزن ، أما الموازين فتبين « الكتلة » . ولا أهمية لهذا الاختلاف ما دمت باقياً في شطر من العالم ، ولكن ، لو أنك اختبرت آلتين للوزن من نوعين مختلفين في عدد من الأماكن المختلفة ، فستجد أن نتائجهما — إذا كاتبنا دقيقتين — لا تتفق

دائماً . أما الموازين العادية فستعطيك نفس النتيجة حيثما كنت ، أما الميزان الزنبركى فلن يعطيك نفس النتيجة دائماً . وهذا معناه ، إذا كان لديك قالب من الرصاص يزن ١٠ أوقيات بالميزان العادى فسيزن دائماً بالميزان ذى الكفتين عشر أوقيات ، فى كل مكان من العالم . أما إذا كان يزن عشر أوقيات بميزان زنبركى فى لندن ، فسيزن أكثر من ذلك فى القطب الشمالى ، وأقل من ذلك عند خط الاستواء ، وأقل من ذلك أيضاً فى طائرة مرتفعة ، وأقل فى قاع منجم للفحم ، إذا وزنت فى تلك الأماكن جميعاً بنفس الميزان الزنبركى . والواقع أن الأداتين تزنان كميات مختلفة تمام الاختلاف . فالميزان العادى يزن ما يمكن أن يسمى (بعض النظر عن التدقيقات التى سنتلفت إليها الآن) كمية المادة quantity of matter فهناك كمية من المادة فى رطل من الريش تعادل كمية المادة فى رطل من الرصاص . والأوزان المعيارية التى هى « كتل معيارية » حقاً ستزن كمية الكتلة فى أية مادة توضع فى الكفة المقابلة . غير أن « الوزن » صفة راجعة إلى جاذبية الأرض . إنها مقدار القوة التى تجذب بها الأرض جسم ما . وهذه القوة تتباين من مكان إلى مكان : فهذه الجاذبية تختلف — فى المقام الأول — فى أى مكان خارج الأرض — بعكس مربع المسافة عن مركز الأرض ، ومن ثم فإنها أقل فى مناطق الجو العليا . وثانياً : حين تهبط إلى منجم للفحم ، فإن جزءاً من الأرض يكون فوقك ، وبالتالي فإنه يجذب المادة إلى أعلى بدلاً من أن يجذبها إلى أسفل ، بحيث يكون صافى الجاذبية إلى أسفل أقل منها على ظهر الأرض . وثالثاً : نظراً لدوران الأرض ، هناك ما يسمى « القوة الطاردة المركزية » وهى تعمل ضد الجاذبية . وهذه القوة تبلغ أقصاها عند خط الاستواء ، لأن دوران الأرض فى هذه المنطقة يقتضى أسرع حركة الأرض ، ولا وجود لهذه القوة عند القطبين لأنهما موجودان على محور الدوران . ولهذه الأسباب جميعاً ، فإن القوة التى يجذب بها جسم ما إلى الأرض يختلف قياسها فى الأماكن المختلفة . وهذه القوة هى ما يقيسه الميزان الزنبركى وهذا هو ما يجعل الميزان الزنبركى يعطى نتائج مختلفة فى الأماكن المختلفة . أما فى حالة الموازين العادية فإن الأوزان المعيارية (الصنج) تتغير كما تتغير الأجسام المراد وزنها ، ولهذا فالنتيجة واحدة فى كل مكان . بيد أن هذه النتيجة هى « الكتلة » لا « الوزن » . و « الوزن » المعيارى كتلته الواحدة فى كل

يمكن ، ولكن ليس له نفس « الوزن » ، فهو في الواقع وحدة للكتلة ، لا للوزن والكتلة — التي تكاد تكون لا متغيرة بالنسبة لجسم معين — تعد من أجل الأغراض النظرية — أهم كثيراً من الوزن الذي يتغير حسب الظروف . ويمكن أن ننظر إلى الكتلة — كبداية — على أنها « كمية المادة » ، quantity of matter وسنرى أن هذا الرأي ليس صحيحاً صحة تامة ، ولكنه يمكن أن يفيد بوصفه نقطة بداية للتهذيبات التالية .

وتعرف الكتلة — من أجل الأغراض النظرية — على أنها محددة بكمية القوة المطلوبة لإحداث عجلة معينة ، وكلما كان الجسم أكثر تكتلاً ، كانت القوة المطلوبة لتغيير سرعته بمقدار معين في زمن معين ، أكبر . ويحتاج الأمر إلى قاطرة أقوى لكي تجعل قطاراً طويلاً يصل إلى سرعة عشرة أميال في الساعة في نهاية نصف الدقيقة الأول ، مما يحتاجه قطار أقصر ليصل إلى نفس هذه السرعة . أو قد تكون لدينا ظروف القوة فيها واحدة بالنسبة لعدد من الأجسام المختلفة ، وفي هذه الحالة ، إذا كنا نستطيع أن نقيس العجلات المحدثه فيها ، فإننا نستطيع أن نتنبأ بنسب كتلتها : فكلما كانت الكتلة أعظم ، كانت العجلة أصغر . ويمكن أن نأخذ لتصوير هذا المنهج ، مثلاً هاماً في ارتباطه بالنسبية . فالأجسام ذات النشاط الإشعاعي تطلق جزئيات بيتا (إلكترونات) بسرعات هائلة . ونستطيع أن نشاهد طريقها بأن نجعلها تسير خلال بخار الجلاء ، وأن تكون سحابة أثناء مسيرها . ونستطيع في الوقت نفسه أن نخضعها لقوى كهربائية ومغناطيسية معروفة ، ونلاحظ مدى انحرافها عن الخط المستقيم بتأثير هذه القوى . وهذا يجعل من الممكن مقارنة كتلتها . وقد وجد أنه كلما كان مسيرها أسرع ، كانت كتلتها أكبر ، وفقاً لقياس مشاهد ثابت ، ومن المعروف أيضاً — على العكس — أن للإلكترونات جميعاً بغض النظر عن تأثير الحركة — كتلة واحدة .

كان هذا كله معروفاً قبل اختراع نظرية النسبية ، بيد أنها أثبتت أن القصور التقاليدى للكتلة ليس له ذلك التحدد التام الذي كان يعزى إليه من قبل . وكان من المعتاد النظر إلى الكتلة على أنها كمية المسادة ، وكان من المفترض أنها لا متغيرة تماماً . والآن ، وجد أن الكتلة نسبية إلى المشاهد كالطول والزمان ، وأنه من

الممكن تغيرها بوساطة الحركة بنفس النسبة تماماً . ومهما يكن من أمر ، فهذه مسألة يمكن علاجها ، إذ نستطيع أن نأخذ الكتلة الصحيحة ، أى الكتلة كما يقيسها مشاهد يشارك في حركة الجسم . وكان هذا من السهل استنباطه من الكتلة المقيسة بأخذ نفس النسبة كما هي الحالة في الأطوال والازمنة .

يبد أن هناك حقيقة أعجب من ذلك ، وهى أننا بعد أن قننا بهذا التصحيح ، لم نحصل بعد على الكمية التى تكون فى كل وقت هى نفسها للجسم نفسه . وحين يمتص جسم ما طاقة ، بأن يزداد سخونة مثلاً — فإن كتلته الصحيحة ، تزداد زيادة طفيفة . وهذه الزيادة طفيفة جداً ، ما دمنا نقيسها بقسمة زيادة الطاقة على مربع سرعة الضوء . ومن جهة أخرى ، حين يفقد جسم شيئاً من الطاقة ، فإنه يفقد شيئاً من كتلته . ولعل أجدر الحالات بالذكر فى هذا الصدد أن أربع ذرات من الإيدروجين يمكن أن تتحد لتكون ذرة واحدة من ذرات الهيليوم ، بيد أن ذرة الهيليوم تزن أقل من أربعة أضعاف كتلة ذرة أيديروجين واحدة . وهذه الظاهرة ذات أهمية عمالية عظيمة . ومن المعتقد أنها تحدث داخل النجوم ، وتزود بالطاقة التى نراها على هيئة ضوء النجوم ، والتى تقوم عليها الحياة الأرضية فى حالة الشمس ، ويمكن أن تحدث أيضاً فى المعامل الأرضية ، بتحرير هائل للطاقة على شكل ضوء وحرارة . وهذا يجعل من الممكن إنتاج القنابل الهيدروجينية — التى يمكن أن تكون غير محدودة الحجم والقوة المدمرة . أما القنابل الذرية العادية التى تعمل بتفكك اليورانيوم ، فلها حد طبيعى : فإذا جمع مقدار كبير من اليورانيوم فى مكان واحد ، فهو قابل للانفجار من تلقاء نفسه دون انتظار للتفجير ، ومن ثم فإن قنابل اليورانيوم لا يمكن أن تصنع إلا بحيث لا يتجاوز حجمها حداً أقصى معيناً . غير أن القنبلة الهيدروجينية يمكن أن تحتوى من الهيدروجين حسبما تشاء ، لأن الأيديروجين لا ينفجر من تلقاء نفسه . وحين يتم تفجير الهيدروجين بقنبلة يورانيوم تقليدية ، فإنه فى هذه الحالة فحسب يتجمع لتكوين الهيليوم ، ولإطلاق الطاقة . وهذا لأن هذا التجمع لا يحدث إلا فى درجة حرارة مرتفعة جداً .

وهناك ميزة أخرى : إن مخزون اليورانيوم فى أرضنا محدود جداً . وقد

يخشى أن ينفد قبل إبادة الجنس البشرى، ولكن، الآن، بعد أن أمكن استخدام كميات الأيدروجين غير المحدودة عملياً — فهناك سبب وجيه لاحتال أن يقضى « الإنسان الحكيم » *homo sapiens* على نفسه، لمصلحة الحيوانات الأقل منه ضراوة التي قد تبقى بعده .

غير أن الوقت قد حان للرجوع إلى موضوعات أقل من هذا مرحاً .

لدينا إذن نوعان من الكتلة، لا يرضى أى، منهما المثل الأعلى القديم، فالكتلة — كما يقيسها مشاهد في حركة بالنسبة للجسم المذكور — كمية نسبية، وليس لها دلالة فزيائية، بوصفها صفة للجسم. « والكتلة الصحيحة » صفة حقيقية للجسم، ولا تتوقف على المشاهد ولكنها — هي أيضاً — ليست ثابتة ثباتاً تاماً. وهكذا تصبح فكرة الكتلة — كما سنرى قريباً — مستوعبة في فكرة الطاقة، فهي تمثل — إذا شئنا الصدق — الطاقة التي ينفقها الجسم داخلياً، في مضاد الطاقة التي يظهرها للعالم الخارجى .

ولقد كان بقاء الكتلة وبقاء كمية الحركة، وبقاء الطاقة هي المبادئ الكبرى في الميكانيكا التقليدية. فلنبحث الآن في بقاء كمية الحركة .

كمية الحركة لجسم ما في اتجاه معين هي سرعته في هذا الاتجاه مضروبة في كتلته. وهكذا يمكن أن يكون لجسم ثقيل يتحرك ببطء نفس كمية الحركة التي لجسم خفيف يتحرك بسرعة. وحين يتبادل عدد من الأجسام الفعل بأية طريقة، بالاصطدام مثلاً، أو بالجاذبية المتبادلة، وما دامت أية مؤثرات خارجية لم تتدخل — فإن مجموع كمية الحركة الأجسام جميعاً في أى اتجاه، تبقى دون تغيير. وهذا القانون يظل صادقاً في نظرية النسبية. فالكتلة تختلف بالنسبة للمشاهدين المختلفين، ولكن السرعة تختلف أيضاً، ويعمل كل من هذين الاختلافين على تحييد الآخر وينتهى الأمر بأن يظل المبدأ صادقاً .

وكمية الحركة لجسم ما مختلفة في الاتجاهات المختلفة. والطريقة المألوفة لقياسها هي أن نأخذ السرعة في اتجاه معين (وفقاً لقياس المشاهد) ونضربها في الكتلة (كما يقيسها المشاهد). والآن فإن السرعة في اتجاه معين هي المسافة التي يقطعها

الجسم في ذلك الاتجاه في وحدة زمنية . فلنفترض أننا أخذنا بدلاً من ذلك المسافة المقطوعة في ذلك الاتجاه أثناء حركة الجسم خلال وحدة « فاصل » . (في الأحوال العادية ، لا يكون هذا سوى تغيير طفيف جداً ، لأن الفاصل — بالنسبة للسرعات الأقل كثيراً من سرعة الضوء — يساوى تقريباً انقضاء الزمن) . ولفترض أننا بدلاً من أن نأخذ الكتلة كما قام بقياسها المشاهد ، أخذنا الكتلة الصحيحة . هذان التغيران يزيدان من السرعة ويقللان الكتلة بنفس النسبة ، وهكذا تبقى كمية الحركة هي نفسها ، ولكن استبدلت الكميات التي تتغير وفقاً للمشاهد بكميات ثابتة ومستقلة عن المشاهد — باستثناء المسافات التي يقطعها الجسم في الاتجاه المعين .

وعند ما نستبدل الزمان بمتصل « المكان — زمان » نجد أن الكتلة المقيسة (في مضاد الكتلة الحقيقية) عبارة عن كمية من نفس نوع كمية الحركة في اتجاه معين ، ويمكن أن تسمى كمية الحركة في الاتجاه الزمني . ونحصل على الكمية المقيسة بضرب الكتلة اللامتغيرة في « الزمن » المقطوع في الانتقال خلال وحدة « الفاصل » ونحصل على كمية الحركة بضرب نفس هذه الكتلة اللامتغيرة في « المسافة » المقطوعة (في الاتجاه المعين) في الانتقال خلال وحدة الفاصل ، ومن الطبيعي — من وجهة نظر متصل « الزمان — مكان » . أن ينتمى كل منهما إلى الآخر .

وعلى الرغم من أن الكتلة المقيسة لجسم ما تتوقف على الطريقة التي يتحرك بها المشاهد بالنسبة للجسم ، فإنها مع ذلك كمية هامة جداً . والمحافظة على الكتلة المقيسة هي كالمحافظة على الطاقة سواء بسواء . وقد يبدو هذا باعثاً على الدهشة ، ما دامت الكتلة والطاقة — تبدوان لأول وهلة — شيئين مختلفين تمام الاختلاف ، ولكن ظهر أن الطاقة هي نفسها الكتلة المقيسة . وشرح هذه المسألة ليس يسيراً ، ومع ذلك ، فسنةوم بالمحاولة .

في الكلام الدارج ، لا تعني « الكتلة » و « الطاقة » شيئاً واحداً على الإطلاق . ونحن نربط « الكتلة » بفكرة رجل بدين بطل في الحركة يجلس على مقعد ، بينما توحى لنا فكرة « الطاقة » برجل نحيف زاخر بالحياة والنشاط . ويربط الكلام الدارج بين الكتلة والقصور الذاتي inertia غير أن نظرتنا إلى « القصور الذاتي »

مقصورة على جانب واحد : إنها تتضمن البطء في بداية التحرك، ولكنها لا تتضمن البطء في التوقف الذي تشمله الكلمة أيضاً . وكل هذه المصطلحات مستخدمة في الكلام الدارج . ونحن الآن معنيون بالمعنى الفنى لكلمة « طاقة » .

أثيرت في النصف الأخير من القرن التاسع عشر ضجة كبيرة حول « بقاء الطاقة » أو « بقاء المادة » على حد التعبير الذي كان يؤثره هربرت سبنسر . ولم يكن من اليسير التعبير عن هذا المبدأ بطريقة بسيطة ، بسبب الأشكال المختلفة للطاقة ، غير أن النقطة الجوهرية هي أن الطاقة لا تفنى ولا تستحدث ، وإن يكن من الممكن تحويلها من نوع إلى آخر وقد اكتسب هذا المبدأ مكانته نتيجة لاكتشاف جول Joule للمعادل الميكانيكى للحرارة mechanical equivalent of heat الذى أثبت أن هناك نسبة ثابتة بين الشغل المطلوب لإحداث مقدار معين من الحرارة والشغل المطلوب لرفع ثقل معين إلى ارتفاع معين : والواقع أن نفس نوع الشغل يمكن أن يستخدم لأى من الغرضين وفقاً للميكانيكية (الآلية) . وعند ما وجد أن الحرارة تتألف من حركة الجزيئات molecules رثى من الطبيعى أن تكون مماثلة لأشكال الطاقة الأخرى . وإذا توسعنا في هذا القول ، أمكن بمعونة قدر معين من النظرية إرجاع أشكال الطاقة جميعاً إلى شكلين ، أطلق عليهما على التوالى : طاقة الحركة kinetic وطاقة الوضع potential .

وطاقة الحركة لجزىء ما هي نصف الكتلة مضروبة في مربع السرعة .
وطاقة الحركة لعدد من الجزيئات هي مجموع طاقات الحركة لكل جزىء على حدة .

أما طاقة الوضع فأصعب من ذلك تحديداً فهي تمثل أية حالة من حالات التوتر التى لا يمكن المحافظة عليها إلا باستخدام القوة ، ولناخذ أسهل حالة : إذا رفع ثقل إلى ارتفاع ما وظل معلقاً ، فإنه يحتوى على طاقة وضع ، لأنه لو ترك لنفسه ، فسوف يسقط . فت طاقة الوضع له تساوى طاقة الحركة التى سيكتسبها إذا سقط في نفس المسافة التى رفع منها . وبالمثل ، حين يدور شهاب حول الشمس في فلك شاذ جداً ، فإنه يتحرك بسرعة أكبر حين يكون قريباً إلى الشمس منه حين يكون بعيداً عنها ، بحيث تكون طاقة وضعه أعظم كثيراً منها

حين يكون بالقرب من الشمس . ومن ناحية أخرى ، تكون طاقة وضعه أكبر ما تكون حين يكون بعيداً عن الشمس ، لأنه يكون هذه الحالة شديداً بالصخرة التي رفعت إلى أعلى . ومجموع الطاقين : طاقة الحركة ، وطاقة الوضع للشهاب مجموع ثابت ، اللهم إلا إذا عانى من الاصطدامات أو فقد شيئاً من مادته . ونحن نستطيع أن نحدد بدقة ، التغيير ، الذي يطرأ على طاقة الوضع في الانتقال من وضع إلى آخر ، بيد أن المقدار الكلي لها اعتباطي إلى حد ما ، مادامنا نستطيع أن نحدد مستوى الصفر حيثما نشاء . فمثلاً ، يمكن أن تؤخذ طاقة الوضع للحجر على أنها طاقة الحركة التي يتطلبها في سقوطه إلى سطح الأرض ، أو ما يتطلبها في سقوطه في بئر إلى مركز الأرض ، أو أية مسافة أقل . فلا أهمية لما نأخذه ، مادامنا نتمسك بقرارنا . . فنحن معنيون بحساب المكسب والخسارة ، وهو ما لا يتأثر بمقدار الرصيد الذي نبدأ به .

وتختلف طاقات الحركة والوضع لمجموعة من الأجسام بالنسبة للمشاهدين المختلفين . وفي الديناميكا القديمة (الكلاسيكية) كانت طاقة الحركة تختلف وفقاً لحالة الحركة التي يكون عليها المشاهد ، ولكن بمقدار ثابت ، أما طاقة الوضع فلم تكن تختلف على الإطلاق . وبالتالي فإن الطاقة الكلية كانت ثابتة — بالنسبة لكل مشاهد — مفترضين دائماً أن المشاهدين المعنيين بالامر يتحركون في خطوط مستقيمة وبسرعات منتظمة ، أو إن لم يكن كذلك ، فإنهم قادرون على إرجاع حركاتهم لأجسام تتحرك على ذلك النحو . بيد أن المسألة ازدادت تعقيداً في الديناميكا النسبية ، فإن أفكار نيوتن عن طاقة الحركة وطاقة الوضع يمكن أن تتكيف دون صعوبة كبيرة مع نظرية النسبية الخاصة . ولسكننا لانستطيع أن نكيف فكرة طاقة الوضع لنظرية النسبية العامة فكيفاً يعود علينا بالنفع ، كما أننا لانستطيع أن نعمم فكرة طاقة الحركة اللهم إلا في حالة جسم واحد . وعلى هذا ، فإن بقاء الطاقة — بالمعنى النيوتوني العادي — لا يمكن الأخذ به . والسبب هو أن طاقتي الحركة والوضع انسق من الأجسام أفكار طبيعية تشير إلى مناطق ممتدة من متصل المكان — زمان . فالجمال المتسع جداً في اختيار الإحداثيات ، والطبيعة الجبلية لمتصل المكان — زمان (اللذان شرحا في الفصل الثاني) يجتمعان أيجعلا من المتعذر إدخال أفكار من هذا القيسل في النظرية

العامة . هناك قانون لبقاء الطاقة في النظرية العامة ، ولكنه ليس مفيداً فائدة قوانين بقاء الطاقة في ميكانيكا نيوتن وفي النظرية الخاصة ، لأنه يعتمد على اختيار الإحداثيات بطريقة يصعب فهمها . ولقد رأينا أن الاستقلال في اختيار الإحداثيات مبدأ هام في نظرية النسبية العامة ، وقانون بقاء الطاقة مشتبه فيه لأنه يتعارض مع هذا المبدأ . وسواء أكان ذلك يعنى أن بقاء الطاقة أقل من حيث الأهمية الجوهرية ، بما كان يعتقد حينذاك ، أم أن قانوننا مرضياً لبقاء الطاقة ما زال مخفياً في التعقيدات الرياضية للنظرية فهذه مسألة ما زالت في حاجة إلى الحل . وفي هذه الأثناء — ينبغي أن نقنع في النظرية العامة بفكرة طاقة الحركة لجزء واحد لحساب . وهذا هو كل ما نحتاج إليه في المناقشة التالية . وينبغي أن نتذكر أن هذه الصعوبات المتعلقة ببقاء الطاقة لا تنشأ إلا في النظرية العامة ، لا في النظرية الخاصة . وحينما أمكن إهمال الجاذبية ، وأصبحت النظرية الخاصة قابلة للتطبيق ، فإنه من الممكن التمسك ببقاء الطاقة .

وليس ما نعنيه بكلمة « بقاء » ، في التطبيق ، هو ما نعنيه تماماً في النظرية . ففي النظرية نقول إن كمية باقية حين يكون مقدارها في العالم هو نفسه في وقت ما ، كما هو في أى وقت آخر . ولكننا لا نستطيع — من الوجهة العملية — أن نُمسح العالم بأسره ، ومن ثم فلا بد أن نعنى شيئاً آخر يمكن الإحاطة به ، ونحن نعنى ، أننا لو أخذنا أية منطقة معينة ، فإن تغير مقدار الكمية في المنطقة ، معناه أن بعض هذه الكمية قد انتقل عبر حدود المنطقة . ولو لم تكن هناك حالات ميلاد ، وحالات وفاة ، لظل تعداد السكان ثابتاً ، وفي هذه الحالة لا يمكن أن يتغير تعداد السكان إلا بالهجرة من المنطقة أو إليها ، أى بالانتقال عبر الحدود . وقد لا نكون قادرين على القيام بتعداد دقيق للصين أو لأواسط أفريقيا ، ومن ثم قد لا نكون قادرين على التأكد من مجموع السكان الكلى في العالم . ولكننا نستطيع أن نبرر أنفسنا حين نفترض أنه ثابت ، لو أن عدد السكان — حينما كانت الإحصائيات ممكنة ، لم يتغير قط إلا بعبور الناس للحدود . والواقع طبعاً ، أن عدد السكان لا يبقى ثابتاً . وقد وضع فسيولوجى من معارفى أربعة قتران ذات مرة في ترموس وبعد عدة ساعات حين ذهب ليخرجها ، وجدهما أحداً عشر فأراً . غير أن

الكتلة لا تخضع لمثل هذه التقلبات . ذلك أن كتلة الأحد عشر فأراً لم تكن في نهاية الوقت أكبر من كتلة الفئران الأربعة في بداية الأمر .

وهذا يعود بنا إلى المشكلة التي كنا نقاش الطاقة من أجلها . لقد ذكرنا أن الكتلة المقيسة والطاقة ينظر إليهما في نظرية النسبية على أنهما شيء واحد ، وأخذنا على عاتقنا أن نبين لماذا كان ذلك . وقد حان الوقت الآن لنشرح في هذا الشرح . بيد أن الأمر هنا — مثله في نهاية الفصل السادس ، ويحسن بالقارىء الذى لا يلم بشيء من الرياضيات أن يتركه ، وأن يبدأ بالفقرة التالية .

فلنأخذ سرعة الضوء على أنها وحدة السرعة ؛ وهذه الطريقة مريحة دائماً في نظرية النسبية ، ولكن ذلك ، هي الكتلة الصحيحة لجسيم ما ، $دس$ ، هي السرعة بالنسبة للمشاهد ومن ثم فإن الكتلة المقيسة تكون :

$$\frac{ك}{\sqrt{١ - س^٢}}$$

بينما تكون طاقة حركته — وفقاً للصيغة المعهودة هي :

$$\frac{١}{٢} ك س^٢$$

ولا تحدث الطاقة — كما سبق أن رأينا — إلا في حساب للكسب والخسارة بحيث نستطيع أن نضيف إليها أية كمية ثابتة نريدها ، وعلى ذلك يمكن أن نأخذ الطاقة على أنها :

$$ك + \frac{١}{٢} ك س^٢$$

والآن ، إذا كانت $س$ كسراً صغيراً من سرعة الضوء ، فإن $ك + \frac{١}{٢} ك س^٢$

تكد تعادل تماماً $\frac{ك}{\sqrt{١ - س^٢}}$. وبالتالي ، فإنه بالنسبة للسرعات التي

للأجسام الكبيرة ، فإن الطاقة والكتلة المقيسة تصيران غير متمايزتين داخل حدود الدقة الممكنة . والواقع أنه من الأفضل تعديل تعريفنا للطاقة ، ليكون

لـ
١٧ — س^٢ ، لأن هذه هي الكمية التي يتمسك بها القانون المماثل لقانون

بقاء الطاقة . وحين تكون السرعة عظيمة جداً ، فإنها تعطى قياساً أفضل للطاقة بما تعطيه الصيغة التقليدية . ولهذا يجب أن ننظر إلى الصيغة القديمة على أنها تقريب تعطى له المعادلة الجديدة صورته المضبوطة . وبهذه الطريقة ، تصبح الطاقة والكتلة المقيسة شيئاً واحداً .

وأصل الآن إلى فكرة « الفعل » action التي هي أقل ألفة للجمهور من فكرة الطاقة ، ولكنها أصبحت أكثر أهمية في الفيزياء النسبية ، وفي نظرية الكم أيضاً . (الكم مقدار صغير من الفعل) . وكلمة « فعل » تستخدم للإشارة إلى الطاقة مضروبة في الزمان . وهذا يعني ، أنه إذا كانت هناك وحدة واحدة للطاقة في نظام معين ، فسوف تقوم بوحدة من الفعل في ثانية ، ومائة وحدة من الفعل في مائة ثانية ، وهلم جرا . والنظام الذي توجد فيه مائة وحدة من الطاقة ، يؤدي مائة وحدة من الفعل في ثانية و ١٠٠٠ وحدة في مائة ثانية ، وهكذا . الفعل إذن — بمعناه البسيط — هو مقياس ما تم فعلاً ، ويزداد باستخدام مزيد من الطاقة ، وبالعمل زمناً أطول . ولما كانت الطاقة هي الكتلة المقيسة ، فيمكننا أيضاً أن نأخذ الفعل على أنه الكتلة المقيسة مضروبة في الزمن . وكشافة المادة . في أية منطقة هي — في الميكانيكا القديمة — عبارة عن الكتلة مقسومة على الحجم ، وهذا معناه أنك إذا عرفت الكثافة في منطقة صغيرة ، فإنك تستطيع أن تكتشف المقدار الكلي للمادة بأن تضرب الكثافة في حجم المنطقة الصغيرة . أما في الميكانيكا النسبية ، فنحن نريد دائماً أن نستبدل المكان بمتصل المكان والزمان ، وعلى ذلك ينبغي ألا تؤخذ « منطقة » ما على أنها مجرد حجم ، بل على أنها حجم يبقى زمناً ما ، وبذلك تكون المنطقة الصغيرة بالمعنى الجديد — تحتوي — لا على كتلة صغيرة فحسب ، بل على كتلة صغيرة مضروبة في زمن قصير ، أي مقدار صغير من « الفعل » . وهذا يفسر لنا ، لماذا يكون من المتوقع أن يكون الفعل ذا أهمية رئيسية في الميكانيكا النسبية . وإنه كذلك في الحقيقة .

ويمكن أن تحل محل المصادرة القائلة بأن الجزيء الذي يتحرك في حرية يتبع خطوط

جيوڊيسية geodesic افتراضاً معادلاً عن « فعل ، الجزىء . وهذا الافتراض يسمى « مبدأ أقل فعل » Principle of Least Action ، ويقرر هذا المبدأ أنه فى الانتقال من حالة إلى أخرى ، يختار الجسم طريقاً يتطلب فعلاً أقل ما يتطلبه أى طريق يختلف اختلافاً طفيفاً ، وهذا قانون آخر عن السكسل الكونى ! ومبادئ « أقل فعل » ليست مقصورة على الأجسام المفردة ، فمن الممكن أن نضع افتراضاً مماثلاً يودى إلى وصف متصل « المكان — زمان » بوصفه كلا ، كاملاً بتلاله ووديانه . ومثل هذه المبادئ التى تلعب دوراً رئيسياً فى نظرية الكم ، ونظرية النسبية على السواء ، هى أشمل وسيلة لتقرير الجزء الصورى الخالص من الميكانيكا .

الفصل الحادى عشر

الكون المتمدد

تناولنا حتى الآن تجارب وملاحظات تتعلق بمعظمها بالأرض والنظام الشمسى . وكان عرضاً أن وصلنا إلى مجالات بعيدة كمجالات النجوم . وفى هذا الفصل سنصل إلى أبعد من ذلك ، فسرى ما تقوله النظرية النسبية عن الكون ككل .

ويجب أن ينظر إلى المشاهدات الفلكية التى سنناقشها على أنها نتائج علمية مقررّة ومهما يكن من أمر ، فإن الشروح النظرية لهذه النتائج ذات طبيعة تأملية ، وينبغى ألا نفترض أننا نتناول مسائل نظرية لها نفس الصلابة التى اتسمت بها المسائل التى تناولناها حتى الآن . وليس من شك فى أنها فى حاجة إلى تحسين . فالعلم لا يهدف إلى إرساء حقائق ثابتة وعقائد أبدية ، وإنما هدفه هو الاقتراب من الحقيقة بتقريبات متتابعة ، دون أن يدعى فى أية مرحلة أنه قد وصل إلى الدقة النهائية الكاملة .

ومن الضرورى أن نمهد بشروح أولية قليلة عن المظهر العام للكون . وقد عرف الآن الكثير عن توزيع المادة على نطاق واسع جداً . وشمسنا واحدة من النجوم فى نظام يضم ١٠٠.٠٠٠ مليون نجم ، ويسمى هذا النظام بالمجرة . وهذه المجرة على هيئة عجلة كاترين هائلة . بأذرع لولبية من النجوم خارجة عن جوارى (محور العجلة) مركزى لامع . ومعالم هذه المجرة ليست حادة كل الحدة ، غير أن الجسم الرئيسى للنجوم يبلغ طوله ٣.٠٠٠ سنة ضوئية ، وعشر هذا الرقم من حيث الكشافة (السنة الضوئية هى المسافة التى يقطعها الضوء فى سنة — حوالى ستة مليون مليون ميل) وتقع الشمس فى إحدى هذه الأذرع الحلزونية ، على بعد ٢٥.٠٠٠ سنة ضوئية من مركز الجوارى . والطريق اللبنية ، وهى مجموعة متألقة من النجوم ممتدة عبر السماء ، وتبرى بسهولة فى اللبالي الصافية ، هى الحد

الاقصى الذى يمكن أن يصل إليه نظرننا لبقية المجرة من هذا الوضع فى الذراع
الحلزوني .

وتحتوى المجرة إلى جانب النجوم على كمية كبيرة من الغازات معظمها
من الأيدروجين ، كما تحتوى على كمية من التراب . ومجموع كتلة الغاز والتراب
تعاادل — على الأرجح — مجموع كتلة النجوم إذا وضعت معاً . وهذا الركام
من النجوم والغبار والغاز يدور ببطء حول الجولق . وتتفاوت سرعة الدوران
حسب بعد المسافة عن الجولق ، وتستغرق الشمس ٢٢٥ مليون سنة لكي تدور
مرة واحدة .

والمجرة ليست وحدها فى الكون بحال من الأحوال . فهى واحدة بين ملايين
عديدة من النظم المماثلة المتناثرة خلال المنطقة التى تستطيع مناظيرنا الفلكية
(التلسكوبات) كشفها . وهذه النظم تسمى أيضاً بالمجرات (وأحياناً تسمى بالسدم)
وبعض هذه المجرات مسطحة ، ذات أذرع لولبية كمجرتنا ، وبعضها الآخر مستديرة
ككرة القدم ، أو بيضاوى ككرة الرجبي ، ومنها ما له شكل غير منتظم .

وتظهر المجرات ميلاً إلى أن تتجمع فى جماعات ، وهذه الجماعات تسمى «عناقيد»
clusters وقد يحتوى العنقود الواحد على ألف مجرة أو ما يزيد على ذلك ، وكل
منها نظام نجمى مترامى الأطراف كنظامنا . ومجرتنا تنتمى إلى عنقود من تلك
العناقيد يسمى «المجموعة المحلية» يضم حوالى سبع عشرة مجرة أخرى (لاستطيع
التأكد تماماً من عدد المجرات فيه لأن عدداً من الأعضاء المشتبه فيها صغير وخافت
نسبياً) ولعل أشهر جارة لنا فى «المجموعة المحلية» local group هى مجرة
أندروميدا العظيمة (أو المرأة المسلسلة) ، وتبعد عنا بحوالى ١٥٠٠.٠٠٠ سنة
ضوئية . وتظهر خافتة للعين المجردة .

وتتبدى عناقيد النجوم على أنها أكبر وحدات طبيعية المادة فى الكون .
ولا يبدو أن هناك ميلاً — وإن لم يكن ذلك مؤكداً بعد — إلى مزيد من التجميع
أى تكوين عناقيد للعناقيد ، ويبدو أن توزيع العناقيد الحالى متجانس إلى حد
بعيد . فمناك من النجوم فى شطر من السماء ما يعادل النجوم فى شطر آخر ، كما

تبدو أنها موزعة توزيعاً متجانساً من حيث العمق ، وليست العناقيد مرتبة بانتظام طبعاً — وكأنها صفوف من النقاط ، ولكنها موزعة اعتباطاً ، وكأنها قطرات من المطر على زجاج نافذة بعد أن بدأ المطر في السقوط. وتوزيع العناقيد متجانس بنفس المعنى الذى نعنيه حين نقول إن توزيع قطرات المطر متجانس — فأنت لا تستطيع أن تقول إن عدد قطرات المطر على كل لوح من الزجاج هو نفسه ، ولكن هذا العدد لن يختلف كثيراً فى لوح عنه فى اللوح التالى .

ولأن عناقيد المجرات هى أكبر وحدات طبيعية . ولأننا نستطيع أن نرى فعلاً عدداً كبيراً من هذه الوحدات ، فمن المعقول أن نفكر فى أن الجزء المرمى من خلال المناظير الفلكية الموجودة يمثل الكون كسبلاً . ولن يكون من المعقول أن نفترض أن المنطقة المتجانسة تمتد إلى المدى البعيد الذى يمكن أن تراه المناظير الفلكية الآن (وهو حوالى ١٠٠٠ مليون سنة ضوئية) وأن التحسين التالى فى المشاهدة سيكتشف مناطق أبعد ذات طبيعة مختلفة تمام الاختلاف . وقد لا يكون من المستحيل أن يكون الأمر على هذا النحو ، بيد أن هذا معناه أن المجموعة المحلية — أو فى مكان ما بالقرب منها — قد اختيرت بصفة خاصة على أنها مركز المنطقة المتجانسة ، بينما لا يوجد سبب على لافتراض أنها اختيرت بهذه الطريقة .

وهذه الفكرة القائلة بأن الكون متجانس على نطاق واسع ، وهى الفكرة التى اقترحت قبل أن تقوم عليها بيئة فلكية مناسبة ، قد اكتسبت الآن وضع المسألة الأساسية . ويطلق عليه عادة اسم « المبدأ الكونى » ، وهذا المبدأ ما هو إلا امتداد حقاً لأفكار « كوبرنيكس » . وما إن تتخلى عن الفكرة الأناية القائلة بأن الأرض هى مركز الأشياء جميعاً ، فإننا نجد أنفسنا مدفوعين إلى إدراك أن الشمس التى هى نجم عادى — لاحق لها أكثر من الأرض فى أن يكون لها مكان خاص فى وصفنا للكون . وحين نجد أن مجرتنا والعنقود الذى تنتمى إليه هما أيضاً مجرد عينات نموذجية ، فينبغى أن يوضعاً أيضاً منطقياً على مستوى واحد مع الأشياء المماثلة الأخرى . كما أنه لا يوجد أى سبب تجريبي لافتراض أن قوانين الفيزياء تتباين تباًيناً منظماً من عنقود من المجرات إلى عنقود آخر .

ومن هذه الحجج ، نستنتج أن الكون متجانس على نطاق واسع ، أو بعبارة أخرى ، أنه يتفق مع المبدأ الكوني .

ويمكن أن توضع نتائج هذا المبدأ بطريقة مختلفة اختلافاً طفيفاً . فلنفترض أنك وضعت في صندوق بلا نوافذ، وأنت تقلت إلى جزء بعيد من الكون . وحين تطلق من الصندوق ، فلن ترى — بالطبع — التوزيع الخاص للنجوم والمجرات المرئية من الأرض — ذلك أن التفاصيل الجغرافية لبيتك الجديدة ستكون مختلفة . ولكن — وفقاً للمبدأ الكوني ، فإن المظهر الإجمالي للكون سيكون هو نفسه ، وإن تستطيع بمعزل عن التفاصيل أن تبين الجزء الذي كنت فيه من الكون .

وثمة ظاهرة بارزة جداً كان من الممكن أن تؤدي بنا إلى افتراض أن لعنقودنا المحلي من المجرات وضعاً خاصاً في الكون — على كل حال . وهذا هو ما يسمى بإزاحة الخط الأحمر في طيف المجرات البعيدة . وبسبب هذه الظاهرة — كما سنرى فيما بعد — يقال إن الكون آخذ في التمدد .

ويعتينا هنا تأثير شرحناه في الفصل التاسع ، وإن نكن معنيين به في ذلك الفصل عناية مباشرة . وأنت تتذكر التشبيه الذي أوردناه هناك عن الصوت: إذا كان هناك قطار يتحرك نحوك ، فإن شدة صفارته تكون أعلى مما لو أنه كان ثابتاً لا يتحرك ، بينما إذا كان يتحرك مبتعداً عنك فإن شدة الصفارة تكون أشد انخفاضاً ، وهذه التأثيرات مشابهة أشد المشابهة في حالة الضوء ، فلو كان مصدر الضوء يتحرك نحوك ، فإن طيف الضوء كله ينتقل نحو البنفسجي ، وإذا كان المصدر يتحرك مبتعداً عنك ، فإن الطيف كله ينتقل صوب الأحمر . هذه الانتقالات للطيف تناظر التغيرات التي تطرأ على شدة الصوت في صفارة القطار ، ويتوقف مقدار الانتقال على سرعة مصدر الضوء بالنسبة إليك . (ولا علاقة لهذا بسرعة الضوء نفسها ، التي تعد مستقلة عن حركة المصدر — كما سبق أن رأينا) ، وهذه الإزاحة للطيف تزودنا بوسيلة لتحديد سرعات النجوم والمجرات بمقارنة أطيف الضوء التي تبعث بها بالأطيف المماثلة التي نحدثها في معاملنا على الأرض . وتبلغ سرعات المجرات في المجموعة المحلية، التي نقيسها بهذه الطريقة ، حوالي ٣٠٠ ميل في الثانية . وهذه سرعة سريعة جداً بالنسبة لمعاييرنا اليومية .

ولكن نظراً للمسافات الشاسعة الممتدة بين المجرات ، فإن أى تغيير ملحوظ .
في أوضاعها يستغرق ملايين السنين .

وبعض المجرات في المجموعة المحلية ، يتحرك نحونا ، وبعضها يتحرك بعيداً عنا ،
وليس في هذا القول شيء بارز عن هذه الحركة التي يمكن أن تقارن بحركة سرب
من النحل . فالنحل يتحرك بعضه بالنسبة لبعضه الآخر ، بيد أن السرب بوصفه
كلاً يظل متحركاً معاً . ويختلف الموقف إلى حد ما عندما نفحص عناقيد أخرى غير
عنقودنا . فهنا أيضاً حركات داخلية في كل عنقود ، غير أن كل العناقيد الأخرى
يبدو أنها تتحرك «مبتعدة» عن عنقودنا ، وكلما أمعنت في الابتعاد ، بدت أسرع
في الحركة . وهذه الظاهرة العجيبة هي التي توحى بأن الكون آخذ في التمدد .

وقد نميل — نظراً لأن كافة العناقيد الأخرى تبدو متحركة بعيداً عن
عنقودنا — إلى التفكير في أن المجموعة المحلية قائمة في مركز الكون الآخذ في التمدد
وهذا خطأ ، لأنه يتجاهل الطبيعة النسبية للحركة التي أشرنا إليها مراراً وتكراراً
في هذا الكتاب . ولننظر مرة أخرى في التشبيه الخاص بأسراب النحل . فلنفترض
أنها أسراب مدربة تدريباً حسناً ، وأنها تحوم فوق الأرض بحيث تكون المسافة
بين كل سرب والسرب الآخر ياردات ، في خط يجرى من الغرب إلى الشرق ،
ولنفترض بعد ذلك أن سرباً من هذه الأسراب يبقى ساكناً بالنسبة للأرض ،
على حين أن السرب الذي يبتعد عنه عشر ياردات إلى الشرق ، يتحرك صوب
الشرق بسرعة ياردة كل دقيقة ، والسرب الذي يبتعد عنه عشرين ياردة إلى
الشرق ، يتحرك صوب الشرق بسرعة ياردتين في الدقيقة ، وهكذا دواليك ،
بينما تتحرك الأسراب الموجودة في غرب السرب الثابت — تتحرك إلى الغرب
بسرعات مماثلة . وحينئذ سيبدو لأية نحلة في أى من هذه الأسراب ، سواء
أكانت ثابتة أم متحركة ، أن الأسراب الأخرى جميعاً تتحرك مبتعدة عن سربها
بسرعات تتناسب مع مسافاتها . فإذا لم تكن الأرض ميسرة بوصفها معياراً
للسكون ، فلن يكون ثمة سبب يدفع إلى التفكير في أننا قد اخترنا سرباً واحداً
من هذه الأسراب بطريقة خاصة .

وبسلوك عناقيد المجرات مشابه لذلك تماماً . وليس من شك في أنها موزعة

توزيعاً غير منتظم في جميع الاتجاهات بدلا من أن تكون مصفوفة في خط واحد كأسرابنا من النحل المدربة تدريباً حسناً ، ولكن يبدو للشاهد الموجود في أى عنقود — كما هي الحال في الأسراب — أن العناقيد الأخرى جميعاً تتحرك مبتعدة عنه . ولما لم يكن هناك معيار مطلق للسكون في السكون ، فإن مظهر التمدد واحد بالنسبة للعناقيد جميعاً .

وأقرب عنقود — وهو على بعد حوالى ٢٥ مليون سنة ضوئية ، ويحتوى على ٥٠٠ مجرة أو أكثر — له إزاحة نحو الخط الأحمر تقابل سرعة ارتداد عن الأرض مقدارها ٧٥ ميلا في الثانية . وأبعد عنقود أمكن بحثه ، له إزاحة نحو الخط الأحمر تبلغ ضعف العنقود السابق مائة مرة ، وتقابل سرعة ارتداد مقدارها $\frac{1}{2}$ سرعة الضوء .

فلنبحث الآن ، كيف يمكن أن تتلاءم هذه المعلومات عن السكون مع نظرية النسبية العامة . لقد رأينا أن التأثيرات الجاذبة للشمس يمكن أن توصف بما يوصف به تل في منتصف الزمان — مكان ، . ويمكن تشبيه المجرة أو العنقود على هذا النحو نفسه . ولكن بتل أكبر كثيراً ، وذلك نظرا لكتلتها (أو كتلته) العظيمة جدا (تبلغ كتلة العنقود النموذجى حوالى مليون مليون مرة ضعف كتلة الشمس) . ولو حاولنا أن نحشر في هذا الوصف تفاصيل توزيع النجوم في كل مجرة ، وتوزيع المجرات في كل عنقود ، لكان لابد من أن يكون تلنا معقدآله قمم ووديان كثيرة . ولحاوانا عندئذ أن نصف السكون كله على نحو يمكن تشبيهه بمتصل المسكان — زمان ، وفيه تلال متناثرة تمثل العناقيد . ومثل هذا الوصف معقد غاية التعقيد من الناحية الرياضية لأنه سوف يتضمن تفاصيل جغرافية عديدة ليست جوهرية في وصف المظهر الإجمالى للسكون . ولتبسيط هذا الوصف نشيد نماذج تحتفظ بالسمات الجوهرية . وتتخلى عن التفاصيل الجغرافية . والسمات التى تحتفظ بها هي التجانس على نطاق واسع ، والامتداد . والتفاصيل التى تتخلى عنها هي المواقع المحددة ، والأحجام ، وتسكوينات العناقيد الفردية .

وهكذا نشيد نموذجا لمتصلات المسكان — زمان ، لتمثل السكون ، مفترضين أنه متجانس على وجه الدقة ، لا على وجه التقريب . وفي هذه النماذج المبسطة

تتخيل المادة وقد أتيحت لها نعومة تجعلها توزع توزيعاً متصلاً بدلاً من أن تتجمع في عناقيد تفصل بينها مسافات شاسعة من الفضاء .

وكما يمكن أن يوصف تجمع المادة في عنقود بقولنا إن هناك تلاً كبيراً في متصل الزمان — مكان ، حيث نشاهد العنقود أو بقولنا إن متصل الزمان — مكان قد انحنى بالقرب من العنقود ، فكذلك يمكن وصف التوزيع المتجانس للمادة في نموذج ناعم للكون بقولنا إن متصل المكان — زمان ، ينحني انحناء متجانساً ، وتأثير تنعيم المادة التي تؤلف العناقيد المختلفة يعمل على تنعيم أو تسوية تقويس (انحناء) المناظر لإنتاج تقويس إجمالي طفيف . وهذا التقويس الإجمالي للكون يشبه إلى حد ما تقويس كرة في المكان العادي ، ولكننا لن نمنع في تشبيه التقويس بتلال متصل ، المكان — زمان ، أبعد من ذلك ، بمقارنته التقويس الإجمالي لموصل المكان — زمان ، بتقويس الأرض ، لأن هذا الإمعان في التشبيه من السهل أن يصير مضللاً .

ويسمح لنا قانون أينشتاين للجاذبية ، بالإضافة إلى افتراض التنعيم — أى الافتراض القائل بالتجانس الدقيق — إلى إنشاء تنوع من نماذج الكون ، يتخذ فيها التقويس الإجمالي تنوعاً من الأشكال المختلفة . والتأثير الرئيسى في هذا التقويس الإجمالي هو أنه يقتضى في بعض النماذج ، أن يظهر الكون وكأنه يتمدد . وهنا يوجد قدر معين من حرية الاختيار . وذلك بسبب حرية الاختيار لنظم الإحداثيات المتاحة لنا في نظرية النسبية فقد نختار الإحداثيات بحيث تكون المادة المنعومة في حالة سکون ، أو قد نختارها بحيث تكون المادة آخذة في التمدد ، ويبدو التقويس أقل انحناء . ونوع الإحداثيات الذى نستخدمه مسألة ذوق ، ولا يؤثر على النتيجة النهائية ، وهى التنبؤ بأنه وفقاً لهذه النماذج للكون ، فإن طيف الأشياء البعيدة سيلاحظ أنه ينتقل صوب الأحمر . وقد نعزو هذه الإزاحة نحو الخط الأحمر إلى التمدد ، أو إلى التقويس ، أو إلى كل منهما جزئياً . ولأن التمدد فكرة أسهل في التفكير من تقويس ، متصل الزمان — مكان ، فمن المريح عادة أن نتحدث عن الكون المتمدد بدلاً من الكون المنحني ، بيد أن هذين — من ناحية المصطلح الرياضى — شئ واحد . وقد كان من الأسهل في حالة الإزاحة نحو الخط الأحمر التى تنبأنا بها في الخطوط الطيفية للشمس ، وهو التأثير

الذى تناولناه في الفصل التاسع — كان من الأسهل التفكير على النحو الآخر ، وإرجاع الإزاحة نحو الخط الأحمر إلى التقويس .

وتتفق نماذج الأكوان التي كنا بصدد الحديث عنها — قليلاً أو كثيراً مع الملاحظات الخاصة بالصفات الإجمالية لكوننا . فهناك أكوان أخرى ، تتسق على السواء مع قانون أينشتين وافترض التجانس ، وفيها «إزاحة — زرقاء» تتجاوب مع تقلص للكون ، بدلاً من الإزاحة الحمراء ، وليس في وجود مثل هذه النماذج ما يدعو إلى رفض نظرية أينشتين ، وإنما تقضى بأن النظرية ليست كاملة ، وبأنه من المطلوب افتراض إضافي يستبعد النماذج غير المطلوبة . ولقد افترضت افتراضات شتى ، ولكن لم يوجد حتى الآن افتراض مرض تماماً .

ولنفحص نتائج التمدد مزيداً من الفحص ، متذكّرين دائماً أن ما نقوله يمكن أن يعاد قوله في حدود تقويس «الزمان — مكان» ، إذا لزم الأمر . وأوضح نتيجة هي أنه لو كان الكون أخذاً في التخلخل — أي لو أن عناقيد المجرات يبتعد بعضها عن البعض الآخر ، فلا بد أنها كانت في الماضي أقرب إلى بعضها البعض منها الآن . فلنفترض أننا التقطنا شريطاً سينمائياً للكون المتمدّد خلال فترة تمتد ملايين عديدة من السنين ، بحيث نسجل تاريخ التمدد كله . ولو أننا عرضنا هذا الشريط عائداً إلى الوراء ، لأظهر لنا تاريخ الكون مقلوباً . وبدلاً من أن تبدو عناقيد المجرات جميعاً مبتعدة الواحد عن الآخر ، فسيبدو أنها تتحرك الواحد صوب الآخر . . . كلما تراجع الشريط القهقري ، اقتربت أكثر فأكثر حتى لا يعود بينها أية فجوات على الإطلاق وإذا واصلنا العودة إلى الوراء ، فقد نفترض أنه حتى الأمكنة الموجودة بين النجوم ستختفي ، بعد أن يملأ الفضاء المتاح كله بغاز ساخن مركز تركيزاً شديداً تخرج منه النجوم . وينبغي أن يسبق هذا الكلام كله عبارة «افترضنا» ، لأن الملاحظات الفلكية لا تبين لنا إن كانت هذه الحالة المكشوفة تكشيفاً شديداً قد وجدت أو لم توجد على الإطلاق . والنماذج النظرية هي التي تمدنا بالأسباب الوحيدة التي تدعونا إلى افتراض وجودها .

وحتى النماذج النظرية ، لا يمكن الوثوق بها في بيان ما حدث في الماضي البعيد ،

لأنه لو وجدت حالة الكشف الشديدة فإن ماهو معروف عن الصفات الكمية للبادء يوحى بأنه كانت للصفات الكمية فى مثل هذه الحالة تأثيرات هامة . وقد رأينا أن نظرية أينشتين عاجزة عن وصف مثل هذه التأثيرات ، ولهذا لا توجد فى واقع الأمر — معلومات موثوق بها على الإطلاق عن حالة الكشف الشديدة . وبالإضافة إلى ذلك ، فإن إمكانية التأثيرات الكمية تقتضى أنه ما من شىء قد حدث قبل حالة الكشف الشديدة يمكن أن يؤثر على السلوك التالى للكون . وهذه كلها أقوال نظرية ، ونستطيع أن نستنتج منها لحسب أن الكون قد خرج — فى الواقع — من حالة شديدة الكشف ، وأن هذه الحالة تمثل الأزمنة الأولى التى ليس من المحتمل أن تحيط بها أية معلومات علمية . وما زال السؤال عما إذا كانت هذه الحالة قد حدثت فعلاً أو لم تحدث ، موضع المناقشة ، فالمعلومات الفلكية المتاحة لنا ليست من الدقة الكافية للإجابة على هذا السؤال . ويميل أولئك الأشخاص الذين يعتقدون فى حدوث هذه الحالة — إلى الإشارة إليها بوصفها « بداية الكون » ، أو « الزمان الذى خلق فيه الكون » ، أو شيئاً من هذا القبيل . وهذه العبارة لا تعنى أكثر من عبارة « الزمان الأول الذى ليس من المحتمل أن تحيط به أية معلومات علمية » . ويستحسن تجنب مثل هذه العبارات ، لأنها تحمل فى طياتها تضمينات ميتافيزيقية غير مرغوب فيها .

وهناك نماذج أخرى للكون ، تتسق مع المعلومات المتاحة لنا ، ومع قانون أينشتين للجاذبية ، وفى هذه النماذج لا تحدث حالة الكشف الشديدة على الإطلاق . وأشهر هذه النماذج ما يعرف « بنموذج الحالة المتزنة » . فلقد رأينا أنك لا تستطيع — وفقاً للبدا الكونى — أن تحدد مكانك فى الكون . غير أن اثنين من الفلكيين على كوكبين فى مجرتين مختلفتين يمكن أن يحددوا « متى » يكونان — فكل منهما سيلاحظ — مثلاً — أن الكون آخذ فى النحافة أثناء تمدده ، كما يمكن أن يتفقا على الأزمنة التى يشاهدان فيها أنه قد نحف إلى أى مدى معين . ومهما يكن من أمر — فإنك لا تستطيع فى نموذج الحالة المتزنة أن تحدد « متى » تكون تماماً ، كما لا تستطيع أن تحدد « أين » أنت . وهذا معناه أنه من المفترض فى نموذج الحالة المتزنة أن الكون يتبدى بمظهر إجمالى واحد — لا بالنسبة

للفلكيين الموجودين في أمكنة مختلفة فحسب بل بالنسبة للفلكيين الموجودين في نفس المكان أو في أمكنة مختلفة أو في أوقات مختلفة . والتقسيم إلى مكان وزمان ، الذى يبدو أنه يحدث هنا ، لا يتعارض مع النسبية ، ولا ينطبق إلا على الفلكيين الذين يتحركون مع عناقيد المجرات . والفلكى الذى يتحرك بسرعة مختلفة اختلافاً جوهرياً سيقوم بوصف أشد تعقيداً للكون . ونحن نفضل بالطبع النظر إلى هؤلاء الذين يقومون بأوصاف أبسط .

والسكى لا يتغير المظهر الإجمالى للكون بتغير الزمان ، وعلى الرغم من التمدد ، فمن الضرورى — ضرورة جلية — أنه فى أثناء تخلخل عناقيد المجرات لابد من أن تظهر عناقيد جديدة لتملأ الفجوات . فمن أين تأتى هذه العناقيد الجديدة ؟ تقول نظرية الحالة المتزنة أنه لابد من أن تظهر المادة فى الفضاء الممتد بين المجرات بمعدل هو المعدل الضرورى لإلغاء التخلخل الناجم عن التمدد . وقد يفترض مبدئياً أن هذه المادة على هيئة غاز الإيدروجين ، الذى يتشكل فيما بعد على هيئة نجوم ومجرات وعناقيد . والمعدل الذى يفترض أن يظهر به الإيدروجين نسبة ضئيلة جداً — ذرة واحدة فى فضاء بحجم كاتدرائية القديس بولس كل ألف سنة — فهى صغيرة إلى درجة تستبعد معها المشاهدات المباشرة ، وإسكنها كبيرة بما يكفى للتعويض عن التخلخل الناجم عن التوسع . والعملية التى يظهر بها الإيدروجين تسمى فى أغلب الأحيان باسم « الخلق المستمر » ، بيد أن هذه عبارة أخرى تحمل نغمت ميتافيزيقية ومن الأفضل ألا نستخدمها . وقد يبدو للوهلة الأولى أن هذه العملية مناقضة لقوانين بقاء الطاقة التى تؤلف شرطاً من نظرية أينشتاين . وحين نضع فى اعتبارنا التقويس الإجمالى للكون وضعاً تاماً ، فإن الأمر ينتهى إلى أن تكون العملية المقترحة متسقة تمام الاتساق مع نظرية النسبية . ولا يمكن أن يكون المعدل الذى تظهر به الذرات الجديدة — طبعاً — أى شئ على الإطلاق ، بل يجب أن تظهر الذرات الجديدة بمعدل هو المعدل المطلوب تماماً للتمدد .

وهكذا توجد نماذج كثيرة للكون قائمة على نظرية أينشتاين ، ومتسقة مع

المعلومات الفلكية المتاحة لنا . ولكل نموذج من هذه النماذج عيوبه ، ولعل
أظهر هذه العيوب هو أنها تعطي صورة مبهمة لا تحسب حساباً لحجم المجرات
والعناقيد وتركيبها . ويتوقف إنشاء نماذج أكثر تفصيلاً على حل بعض
الصعوبات الرياضية الخطيرة ، وإلى أن تتحسن معلوماتنا الفلكية فسوف
لا نستطيع أن نختار اختياراً حاسماً بين هذه النماذج المختلفة .

الفصل الثاني عشر

مواضع وقوانين طبيعية

من أصعب المسائل في كل نزاع أن نميز الخلافات على الألفاظ من الخلافات على الوقائع . وقد كان ينبغي ألا يكون هذا التمييز صعباً ، ولكنه صعب في التطبيق . ويصدق هذا القول على الفزياء صدقه على الموضوعات الأخرى . فقد ثارت في القرن السابع عشر مناقشة رهيبة عن ماهية « القوة » ، وهي مناقشة — يبدو من الجلي لنا الآن — أنها كانت تدور عن الكيفية التي يجب أن تعرف بها كلمة « قوة » ، بيد أنه كان من المعتقد حينذاك ، أن الأمر يزيد على ذلك كثيراً . ومن أغراض منهج الكميات الممتدة المستخدم في رياضيات النسبية ، الاستغناء عما هو لفظي (بالمعنى الواسع لهذه الكلمة) في القوانين الفزيائية . ومن الواضح — بالطبع — أن ما يعتمد على اختيار الإحداثيات « لفظي » بالمعنى المذكور ، والملاح الذي يغرس مجاديفه في قاع النهر يسير في الزورق ، ولكنه يحتفظ بوضع ثابت بالنسبة لحوض النهر ، ما لم يلتقط مجدافه . وقد يجادل الأقزام جدلاً لا نهاية له عما إذا كان سائراً أو واقفاً في مكانه ، وسيكون الجدل دائراً حول ألفاظ ، لا حول وقائع . فلو أننا اخترنا إحداثيات ثابتة بالنسبة للقارب ، يكون سائراً . ونحن نريد أن نعبر عن القوانين الفزيائية بطريقة يكون من الواضح فيها حين نعبر عن نفس القانون بالإشارة إلى نظامين مختلفين للإحداثيات ، وذلك حتى لا نضل ، مفترضين أن لدينا قوانين مختلفة ، في الوقت الذي لا يكون لدينا غير قانون واحد مصاغ في ألفاظ مختلفة ، ويتم هذا بمنهج الكميات الممتدة . وبعض القوانين التي تبدو مستحسنة في لغة ، تتعذر ترجمتها إلى لغة أخرى . وهذه مستحيلة بوصفها قوانين للطبيعة . فالقوانين التي يمكن ترجمتها إلى « أية » لغة إحداثيات تتميز بسمات معينة . وهذه معونة جوهرية في البحث عن قوانين الطبيعة التي يمكن أن تقبلها نظرية النسبية بوصفها قوانين ممكنة . ومن هذه القوانين

الممكنة، نختار أبسطها ، وهو القانون الذى يتنبأ بالحركة الفعلية للأجسام تنبؤاً صحيحاً ، ويمتزج المنطق بالخبرة بنسبة متساوية فى الحصول على هذا التعبير .

بيد أن مشكلة الوصول إلى القوانين الحقيقية عن الطبيعة لا يحل بمنهج الكميات الممتدة وحده ، فلا بد أن يضاف إليه قدر معين من التفكير المتأنى . وقد أنجز العلماء بعض هذا التفكير — وخاصة إدنجتون — وما زال باقياً الكثير .

ولنأخذ مثلاً بسيطاً : فلنفترض — كما يذهب إلى ذلك افتراض الانكماش الذى وضعه فترجيرالد — أن الأطوال فى اتجاه أقصر منها فى اتجاه آخر . ولفترض أن مسطرة تشير إلى الشمال هى نصف نفس المسطرة مشيرة إلى الشرق ، وأن هذا ينطبق سواء بسواء على الأجسام الأخرى جميعاً . هل يكون لهذا الافتراض أى معنى ؟ ولو أن لديك عصا للصيد طولها خمس عشرة قدماً حين تشير إلى الغرب ، ثم حولتها إلى الشمال ، إن طولها لا يزال خمس عشرة قدماً ، لأن مسطرتك تكون قد انكشفت هى الأخرى ، وإن تبدو أقصر بحال من الأحوال ، لأن عينك قد تأثرت بنفس الطريقة . وإذا استطعت أن تظن إلى التغيير ، فلن يكون ذلك بالقياس العادى . بل لابد أن يكون ذلك بمنهج يشبه تجربة ميكلسون — مورلى ، التى استخدمت فيها سرعة الضوء لقياس الأطوال . ويبقى عليك أن تقرر ما إذا كان من الأبسط أن تفترض تغيراً فى الطول أم تغيراً فى سرعة الضوء . والواقع التجريبى هو أن الضوء يستغرق وقتاً أطول ليقطع ما تبينه مسطرتك على أنه مسافة معينة فى اتجاه واحد ، منه فى اتجاه آخر — أو ، كما هى الحال فى تجربة ميكلسون — مورلى — أنه ينبغى أن يستغرق وقتاً أطول ، ولكنه لا يفعل ذلك . وتستطيع أن تكيف مقاييسك مع مثل هذه الحقيقة بطرق شتى ، وأية طريقة اخترتها ، سيكون ثمة عنصر اصطلاحى أو اتفاقى ، وهذا العنصر يبقى فى القوانين التى تصل إليها بعد أن تكون قد اتخذت قرارك فيما يتعلق بالمقاييس ، وهو يتخذ فى كثير من الأحيان صوراً خفية ، مراوغة . والواقع أن حذف عنصر الاصطلاح هذا ، صعب صعوبة غير مألوفة ، وكلما توغلنا فى دراسة الموضوع ، بدت لنا الصعوبة أعظم .

وهناك مثل أكثر من ذلك أهمية هو مسألة حجم الإلكترون . فنحن نجد

بالتجربة أن الإلكترونات جميعاً لها نفس الحجم . ولكن ، إلى أى مدى تكون هذه واقعة حقيقية تؤكد التجربة ، وإلى أى مدى تكون نتيجة لمواصفائنا في القياس ؟ ولدينا هنا مقارنتان مختلفتان نعقد هما : (١) بالنسبة لإلكترون واحد في أزمنة مختلفة ، (٢) بالنسبة لإلكترون في نفس الزمن . ثم نستطيع أن نصل إلى مقارنة إلكترونين في أزمنة مختلفة بأن نجمع بين (١) ، (٢) . وقد نستبعد أى افتراض يؤثر على الإلكترونات جميعاً على السواء ، فمن العبث مثلاً أن نفترض أن الإلكترونات في منطقة واحدة من متصل المكان — زمان ، تكون أكبر كلها منها في منطقة أخرى . فإن مثل هذا التغير يؤثر على أدوات القياس تأثيره على الأشياء المقيسة ، ومن ثم لن يحدث أية ظاهرة قابلة للاكتشاف . وهذا يعادل قولنا إنه لا تغيير هناك على الإطلاق . أما واقعة أن لإلكترونين نفس الكتلة — مثلاً — لا يمكن أن ينظر إليها على أنها إتفاقية صرفة . فإذا أتاحت لنا الدقة والضبط الكافيان ، فإنه يمكن أن تقارن تأثير إلكترونين مختلفين على إلكترون ثالث . فإذا تساوى في مثل هذه الظروف ، كنا في وضع يسمح لنا باستنباط المساواة ، بمعنى لا يكون اتفاقياً صرفاً .

ويعصف إدنجتون هذه العملية في الأجزاء المتقدمة من نظرية النسبية بأنها « بناء العالم » . والبناء الذي سيشيد هو العالم الفزيائي ، كما نعرفه ، والمهندس المعماري الاقتصادي يحاول أن يشيده بأصغر كمية ممكنة من المواد . فهذه مسألة تتعلق بالمنطق والرياضيات . وكلما كانت مهارتنا في هذين الموضوعين أعظم ، استطعنا أن نبني بناء حقيقياً ، ولم نقنع بمجرد أكوام من الصخور . ولكن ، قبل أن نستخدم في بنائنا الأحجار التي تزودنا بها الطبيعة ، علينا أن نتحتها وفقاً للأشكال الصحيحة . هذا كله جزء من عملية البناء . والكي يكون هذا ممكناً ، فينبغي أن يكون للمادة الخام « شيء » من التكوين (يمكن أن تتصوره شيئاً بالحبة في الخشب) ولكن أى تكوين يمكن أن ينفع ؟ وبتهذيباتنا الرياضية المتعاقبة نشذب مطالبنا الأصلية حتى تصبح شيئاً ضئيلاً جداً — فإذا أتيج لنا هذا الحد الأدنى الضروري من التكوين في المادة الخام ، فإننا نجد أننا نستطيع أن نشيد منه تعبيراً رياضياً يتصف بالصفات التي نحتاج إليها في وصف العالم الذي تتصوره — وعلى الأخص —

صفات البقاء التي تتميز بها كمية الحركة والطاقة (أو الكتلة) . ومادتنا الخام تتألف من الحوادث فحسب ، ولكن حين نجد أننا نستطيع أن نبني منها شيئاً — يبدو — عند ما يقاس — أنه لا يفنى ولا يستحدث ، فليس غريباً أن يفرض بنا ذلك إلى الاعتقاد في الأجسام ، وما هذه إلا مجرد تركيبات رياضية من الحوادث ولكن نظراً لدوامها ، فإنها هامة من الوجهة العملية ، وحواسنا (التي تطورت على سبيل الافتراض — نتيجة للاحتياجات البيولوجية) متكيفة لمشاهدة هذه الأحداث ، أكثر من تكيفها مع متصل الحوادث الغفل الذي يعد أكثر أساسية من الناحية النظرية . ومن الغريب — من وجهة النظر هذه — أن ما اكتشفه العلم الفيزيائي من العالم الحقيقي ضئيل جداً : فمعلقتنا محدودة ، لا بالعنصر الاتفاقي فحسب ، بل بالتقائية جهازنا الإدراكي أيضاً .

ومن الممكن — على الأخص — خلق ظروف التماثل خلقاً تاماً بوساطة المواضعات فيما يتعلق بالقياس ، وليس هناك ما يدعو إلى افتراض أنها تمثل أية خاصية للعالم الحقيقي . ويمكن النظر إلى قانون الجاذبية نفسه — على حد قول إدنجتون — على أنه يعبر عن مواضعات القياس فيقول : « إن مواضعات القياس تدخل التماثل في كافة الاتجاهات ^(١) isotropy والتجانس في المكان المقدس الذي ليس له مقابل في علاقة — التكوين Relation-structure التي تم مسحها . وهذا التماثل في كافة الاتجاهات ، وهذا التجانس هما تماماً ما يعبر عنهما قانون أينشتاين للجاذبية ^(٢) .

وحدود المعرفة التي تفرضها اتقائية جهازنا الإدراكي يمكن تصويرها بعدم « فناء الطاقة » . وقد تم اكتشاف ذلك تدريجياً بوساطة التجربة ، وبدأ أنه قانون تجريبي متين من قوانين الطبيعة . ولكن ظهر أننا نستطيع — من متصل المكان — زمان ، الأصلي ، أن ننشئ تعبيراً رياضياً تكون له الصفات التي

(١) Isotropy معناها التماثل في كافة الاتجاهات ، كأن تحتفظ مسطرة بطول واحد حين

تشير إلى الشمال أو حين تشير إلى الشرق .

(٢) نظرية النسبية الرياضية ، ص ٢٣٨ ،

تجعله يبدو غير قابل للفناء . وحيثئذ تكف العبارة القائلة بأن الطاقة لا تفنى عن أن تكون قضية من قضايا الفزياء ، بل تصبح بدلا من ذلك قضية من قضايا اللغة وعلم النفس . « والطاقة » بوصفها قضية من قضايا اللغة — هي اسم التعبير الرياضى موضع السؤال ، وبوصفها قضية من قضايا علم النفس : هي أن حواسنا بجعولة بحيث نشاهد ما هو التعبير الرياضى إجمالا موضع السؤال ، ونقترب منها أكثر فأكثر كلما هذبنا إدراكاتنا الحسية الغفل بوساطة المشاهدة العلمية . وهذا أقل كثيراً مما اعتاد الفزيائيون أن يعتقدوا في أنهم عرفوه عن الطاقة ،

وقد يقول القارىء : ماذا يتبقى إذن للفزياء ؟ ماذا تعرف حقاً عن عالم المادة ؟ وهنا يمكن أن نميز ثلاثة أقسام في الفزياء .. فهناك أولا ما يندرج في نظرية النسبية المعممة أو مسع تعميم يمكن . ثم هناك ثانياً القوانين التى لا يمكن أن تندرج داخل نطاق النسبية . وثالثاً ، هناك ما يمكن أن يسمى بالجغرافيا . فلننظر فى كل قسم من هذه الأقسام على التوالى .

تنبئنا نظرية النسبية — بمعزل عن المواضعات — أن لحداث الكون نظاماً رباعى الأبعاد ، وأن بين أى حادثتين قريبتين فى هذا النظام ثمة علاقة تسمى « الفاصل » ، وهذا الفاصل قابل للقياس إذا اتخذنا الاحتياطات المناسبة ، كما تنبئنا أيضاً بأنه لا يمكن أن يكون « الحركة المطلقة » أو للمكان المطلق ، أو للزمان المطلق ، أية دلالة فزيائية ، وقوانين الفزياء التى تستخدم هذه المفاهيم غير مقبولة وليس هذا قانوناً فزيائياً فى حد ذاته ، ولكنه بالآخرى قاعدة نافعة تمكثنا من أن نرفض بعض القوانين الفزيائية المقترحة على أنها غير مرضية .

وفى عدا ذلك ، لا تحتوى نظرية النسبية إلا على القليل الذى يمكن أن ينظر إليه بوصفه قوانين فزيائية . فى هذه النظرية قدراً كبير من الرياضيات مبنياً أن بعض الكميات المعينة المكونة تسكون رياضياً ينبغى أن تسلك سلوكاً شبيهاً بسلوك الأشياء التى ندركم بحسنا ، وفيها أيضاً اقتراح بقنطرة بين علم النفس والفزياء فى هذه النظرية ، بأن هذه الكميات المركبة تركيباً رياضياً هي ما كيفت حواسنا لإدراكه . بيد أن هذا أو ذاك ليس من الفزياء بالمعنى الدقيق .

وجزاء الفزياء الذى لا يمكن فى الوقت الحالى أن يدخل فى نطاق النسبية ، كبير وهام . فليس فى النسبية ما يبين لماذا ينبغى أن توجد إلكترونات وبروتونات ، ولا تستطيع النسبية أن تعطى أى سبب لوجود المادة فى كتل صغيرة . وهذا هو ميدان نظرية الكم ، التى تفسر كثيراً من صفات المادة على النطاق الضيق . وقد وضعت نظرية الكم لتتسق مع نظرية النسبية الخاصة ، بيد أن كل المحاولات التى بذلت منذ ذلك الحين لوضع مركب من نظرية الكم ونظرية النسبية العامة قد باءت بالفشل . ويبدو أن هناك صعوبات قاسية جداً تعترض طريق إدراج هذا الجزء من الفزياء داخل إطار النسبية العامة . وهناك فى الوقت الحالى صعوبات لا تقل عن ذلك قسوة فى نظرية الكم نفسها ، ويعتقد كثير من الفزيائيين أن مركباً من نظرية الكم ونظرية النسبية العامة قد يحل بعض هذه الصعوبات . والموقف الحالى ، كما رأيناه — هو أن النسبية العامة تعلل صفات المادة على نطاق واسع — تعليلاً مرضياً إلى حد كبير ، بينما تعلل نظرية الكم صفات المادة على النطاق الضيق جداً تعليلاً مرضياً إلى حد كبير . ومهما يكن من أمر ، فلا توجد أية رابطة ظاهرة بين النظريتين اللهم إلا فى أساسهما المشترك فى نظرية النسبية الخاصة . وهذا الموقف غير مرض ، ومن غير المحتمل أن يدوم . ويعتقد أشخاص قلائل أن نظرية النسبية العامة يمكن أن تتسع بطريقة تستطيع معها أن تفسر جميع النتائج التى تفسرها نظرية الكم ، وأن يكون ذلك بطريقة أفضل مما تفعله نظرية الكم . وكان أينشتين فى أواخر أيام حياته من أولئك الذين يعتقدون ذلك ، وأياً كان الأمر ، فإن كثيراً من الفزيائيين فى أيامنا هذه يعتقدون أن هذا رأى خاطئ .

ونظرية النسبية العامة هى أكثر الأمثلة تطرفاً على ما يمكن أن يسمى طريقة الخطوة ثم الخطوة التى تليها next-to-next methods فلم يعد هناك ما يدعو إلى اعتبار الجاذبية راجعة إلى تأثير الشمس على كوكب سيار ، ولكن يمكن أن نفكر فيها بوصفها معبرة عن سمات المنطقة التى تصادف فيها وجود الكوكب ، ومن المفترض أن تتغير هذه السمات شيئاً فشيئاً ، تدريجياً ، وباستمرار ، لا فى وثبات مفاجئة ، كما يتحرك الإنسان من جزء فى متصل « المكان — زمان » إلى جزء آخر . ويمكن النظر إلى تأثيرات الكهرومغناطيسية بطريقة مماثلة ، ويمكن

ما إن نجعل الكهر ومغناطيسية متفقة مع نظرية الكم حتى تتغير طبيعتها تغيراً تاماً ، إذ يختفي المظهر المتصل اختفاء كاملاً ويحل محله السلوك المنفصل الذي تتميز به — كما رأينا آنفاً — نظرية الكم . وإذا حاولنا — على أية حال — أن نطبق على الجاذبية هذه الأفكار الخاصة بنظرية الكم ، فإننا نجد أنها لا تتلاءم تلاؤماً صحيحاً ، وأنه من الضروري إدخال شيء من التعديل على هذه النظرية أو على تلك ، أو على كليهما معاً . . . أما ما هو هذا التعديل المطلوب ، فشيء لم نعرفه بعد . وقد يكون من الممكن شرح هذه الصعوبة بطريقة مختلفة نوعاً ما . فحين يشاهد فلسكى الشمس ، فإن الشمس تحتفظ بعدم اكتراث متعال لما يقوم به من إجراءات . ولكن ، حين يريد عالم في الفزياء أن يكتشف ما يحدث لنرة ما ، فإن الجهاز الذي يستخدمه أكبر كثيراً من الشيء الذي يلاحظه بدلاً من أن يكون أصغر منه ، ومن المحتمل أن يكون لهذا الجهاز تأثير على الإلكترون . وقد وجد أن أنسب الأجهزة لتحديد موقع ذرة خليك بأن يؤثر على سرعتها ، وأن أفضل الأجهزة لتحديد السرعة كفيل بالتأثير على موقعها . وهذا لا يسبب أية صعوبة حين تكون نظرية الكم للذرات موضوعة لتتمشى مع نظرية النسبية الخاصة ، لأن الجاذبية تهمل في هذه الحالة . ويفترض أن يكون متصل ، المكان — زمان ، مستوياً ، سواء أكان فيه ذرات أم لم يكن ، ولكننا إذا حاولنا أن نجعل نظرية الكم متمشية مع نظرية النسبية العامة ، فلا ينبغي إهمال الجاذبية ، وذلك حتى يتوقف منحني المكان — زمان ، على المناطق المجاورة للذرة . وأيما كان الأمر ، فإن نظرية الكم توضح توضيحاً تاماً — كما رأينا لتونا — أننا لا نستطيع أن نعرف دائماً أين توجد الذرات . وهذا هو أساس الصعوبة .

وأخيراً نصل إلى الجغرافيا ، التي أدخل تحتها التاريخ . والفصل بين التاريخ والجغرافيا يقوم على الفصل بين الزمان والمكان : وحين نمزج الاثنين في متصل واحد ، فإننا نحتاج إلى كلمة واحدة لوصف مزيج الجغرافيا والتاريخ . وسأستخدم كلمة « جغرافيا » وحدها بهذا المعنى الواسع ، لإشارة للبساطة .

وتشمل الجغرافيا بهذا المعنى كل ما يميز جزءاً من « متصل الزمان — مكان » عن جزء آخر . فثمة جزء تحتله الشمس ، وثمة جزء آخر تحتله الأرض ،

والمناطق المتوسطة بينهما تحتوي على موجات الضوء ، ولكنها لا تحتوي على أية مادة (اللهم إلا شيء ضئيل جداً هنا أو هناك) . وتوجد درجة معينة من الرابطة النظرية بين الوقائع الجغرافية المختلفة ، وإقرار ذلك هو هدف القوانين الفيزيائية .

ونحن في وضع يتيح لنا بأن نحسب الحقائق الكبيرة عن النظام الشمسي في الماضي والمستقبل لفترات واسعة من الزمان . ولكننا في هذه الحسابات جميعاً نحتاج إلى أساس من الواقع الغفل . والوقائع تترايط فيما بينها ، غير أن الوقائع لا يمكن استنباطها إلا من وقائع أخرى فقط ، لا من القوانين العامة وحدها . وهكذا تتخذ وقائع الجغرافيا وضعاً مستقلاً معيناً في الفيزياء . ولن يمكننا أى قدر من القوانين الفيزيائية من استنباط واقعة فيزيائية إلا إذا كنا نعرف وقائع أخرى نتخذها مادة لاستنباطها . وحين أتحدث هنا عن « الوقائع » ، أفكر في وقائع الجغرافيا الخاصة ، بالمعنى الواسع الذى أستخدم فيه هذه الكلمة .

ونحن نعنى في نظرية النسبية ، بالبناء لا بالمادة التى يتألف منها البناء . أما فى الجغرافيا — فالمادة — من جهة أخرى — هى التى تعيننا . وإذا كان هناك أى اختلاف بين مكان وآخر ، فلا بد أن يكون هناك اختلافات فى المادة الموجودة فى هذا المكان عن المادة الموجودة فى المكان الآخر ، أو أن فى أحدهما مادة بينما لا توجد مادة فى المكان الآخر . والاحتمال الأول من هذه الاحتمالات هو الذى يبدو أكثر إرضاء . وقد نحاول أن نقول: توجد إلكترونات وبروتونات والجسيمات الذرية الفرعية الأخرى ، والباقي فارغ . بيد أنه فى المناطق الفارغة توجد موجات الضوء ، بحيث لا نستطيع أن نقول إنه لا يوجد شئ فىها . بل إننا لا نستطيع وفقاً لنظرية الكم — أن نحدد أين توجد الأشياء بالضبط ، وإنما من المحتمل أن يوجد الكترون فى هذا المكان لا فى ذاك . ويعتقد بعض الناس أن الموجات الضوئية ، والجزيئات أيضاً ، مجرد اختلالات فى الأثير ، والبعض الآخر يقنع بقوله إنها مجرد اختلالات لحسب ، بيد أنه على أية حال ، تقع الحوادث حيثما وجدت موجات ضوئية أو جسيمات . وهذا هو كل ما نستطيع أن نقوله عن الأماكن التى يحتمل أن تكون بها طاقة بصورة

أو بأخرى ، ما دامت الطاقة قد انتهت إلى أن تكون بناء رياضياً مشيداً من الحوادث . نستطيع أن نقول إذن إن هناك حوادث في أرجاء متصل ، المكان — زمان ، جميعاً ، ولكن لا بد أن تكون من نوع مختلف إلى حد ما طبقاً للمنطقة التي تتناولها ، وهل تحتوى على إلكترون أو بروتون ، أو هي من نوع المناطق الذي نسمية عادة مناطق خاوية ، أما فيما يتعلق بالطبيعة الأصلية لهذه الحوادث ، فلا نستطيع أن نعرف عنها شيئاً ، اللهم إلا إذا تصادف أنها حوادث في حيواتنا الخاصة . وينبغي أن تكون إدراكاتنا الحسية ومشاعرنا جزءاً من المادة الخام للحوادث التي ترتبها الفزياء في نموذج ، أو بالأحرى ، التي تجدها مرتبة في نموذج . وأما فيما يتعلق بالحوادث التي لا تؤلف جزءاً من حيواتنا الخاصة ، فإن الفزياء تخبرنا بنماذجها . ولكنها عاجزة تماماً عن أن تخبرنا بما هي في حد ذاتها . ولا يبدو أن هذا من الممكن أن يكتشف بأي منهج آخر .

الفصل الثالث عشر

إلغاء "القوة"

تتحرك الأجسام - وفقاً لنسق نيوتن- في خطوط مستقيمة وبسرعة منتظمة، إذا لم تخضع لتأثير أية قوى ؛ وحين لا تتحرك الأجسام على هذا النحو ، فإن تغير حركتها يعزى إلى "قوة" ما . وتبدو بعض القوى معقولة بالنسبة لخيالنا : كالقوى التي تبذل بواسطة جبل أو وتر ، أو الناشئة عن اصطدام الأجسام ، أو بأى ضرب ظاهر من ضروب الشد أو الجذب . وفهمنا المتخيل الظاهري لهذه العمليات - وفقاً لما شرحناه في فصل سابق - خاطئ "تمام الخطأ" ، وكل ما يعنيه حقاً هو أن خبرتنا الماضية تمسكتنا من التنبؤ - قل ذلك أو أكثر - بما سيجرى دون حاجة إلى حسابات رياضية . يبدو أن القوى التي تنطوي عليها الجاذبية ، وأشكال الفعل الكهربائي الأقل ألفة لا تبدو - بهذه الطريقة - طبيعية لخيالنا . ويبدو من الغريب أن الأرض تطفو في فراغ ، والشيء الطبيعي الذي نفترضه هو أنها ينبغي أن تسقط . ولهذا لا بد من أن تتركز على فيل ، والفيل على سلحفاة ، كما ذهب إلى ذلك بعض المفكرين القدماء . وقد أدخلت نظرية نيوتن - بالإضافة إلى التأثير عن بعد - ابتكارين متخيلين آخرين : الابتكار الأول هو أن الجاذبية ليست موجهة دائماً وبصورة جوهرية إلى "أسفل" ، أى نحو مركز الأرض ؛ والابتكار الثانى هو أن الجسم الذى يدور ويدور فى دائرة بسرعة منتظمة ، "لا يتحرك بانتظام" ، بالمعنى الذى تستخدم فيه هذه الجملة بالنسبة للأجسام التى لا تخضع لأية قوى ، وإنما تنحرف باستمرار عن المسار المستقيم ، صوب مركز الدائرة ، مما يتطلب قوة تجذبه فى هذا الاتجاه . ومن ثم ، فقد توصل نيوتن إلى الرأى القائل بأن الكواكب السيارة تنجذب إلى الشمس بواسطة قوة ، تسمى الجاذبية .

ولقد نسخت نظرية النسبية - كما رأينا - هذه النظرة برمتها . فلم تعد

هناك « خطوط مستقيمة » بالمعنى الهندسى القديم ، وإنما هناك « أقرب الخطوط إلى الاستقامة » أو « خطوط جيوديسية » . غير أن هذه تتطلب الزمان تطلبها للكان . وشعاع الضوء الذى يمر من خلال النظام الشمسى لا يتحرك فى نفس الفلك الذى يتحرك فيه شهاب ما ، من وجهة النظر الهندسية ، ومع ذلك فإن كلا منهما يتحرك وفقاً لخط جيوديسى . وهكذا تتغير الصورة المتخيلة بأكملها . وربما قال شاعر إن الماء يجرى هابطاً على سفح الجبل لأنه منجذب نحو البحر ، غير أن الفزيائى أو أى إنسان عادى ، قد يقول إن المياه تتحرك — كما تتحرك — عند كل نقطة ، بسبب طبيعة الأرض فى تلك النقطة دون نظر إلى ما ينتظرها بعيداً عنها . وكما أن البحر لا يسبب جريان الماء نحوه ، فكذلك لا تسبب الشمس تحرك الكواكب حولها . فالكواكب تدور حول الشمس لأن هذا الدوران هو أسهل شيء تستطيع أن تفعله بالمعنى الفنى لأقل حركة ، وهو أسهل شيء تستطيع أن تفعله بسبب طبيعة المنطقة التى توجد فيها تلك الكواكب ، لا بسبب تأثير صادر عن الشمس .

والضرورة المزعومة التى تجعلنا نعزو الجاذبية إلى قوة تجذب الكواكب نحو الشمس قد نشأت عن التصميم على الإبقاء على الهندسة الإقليدية بأى ثمن . فإذا افترضنا أن المكان إقليدى ، على أنه ليس فى الحقيقة كذلك ، فعلينا أن نهيب بالفزياء لتصحيح الأخطاء التى تقع فيها هندستنا ، ومنجد أن الأجسام لا تتحرك فيما نصر على اعتباره خطوطاً مستقيمة . وسنطالب بسبب لهذا السلوك . وقد عرض إدنجتون هذه المسألة فى وضوح يبعث على الإعجاب . وقد افترض أن هناك فزيائياً يعتقد صيغة « الفاصل » المستخدمة فى نظرية النسبية الخاصة — وهى صيغة لا زالت تفترض أن مكان المشاهد إقليدياً . ويواصل كلامه قائلاً :

وما دام من الممكن مقارنة الفواصل intervals بالمناهج التجريبية ، فسرعان ما سيكتشف أن صيغته (عن الفاصل) لا يمكن أن تتفق مع نتائج الملاحظة . إلى أن يدرك خطأه . بيد أن العقل لا يتخلص بهذه السرعة من فكرة مستبدة . ومن المرجح أن مشاهدنا سيستقر على رأيه ، وسيعزو انحراف المشاهدات إلى تأثير ما ، يوجد ويؤثر على وجود الأجسام التى يستخدمها فى اختياره . وسيدخل عاملاً فائقاً على الطبيعة يستطيع أن يوجه إليه اللوم على نتائج خطئه . والاسم

الذى يطلق على أى عامل يسبب انحرافاً عن الحركة المنتظمة فى خط مستقيم هو « القوة » ، وفقاً لتعريف نيوتن للقوة . وهكذا يوصف العامل الذى دخل نتيجة لخطأ مشاهدنا على أنه مجال القوة field of force ، ومجال القوة يمثل الفرق بين الهندسة الطبيعية لنظام متسق ، والهندسة المجردة المنسوبة إليه اعتباراً (١) .

ولو تعلم الناس تصور العالم بهذه الطريقة الجديدة ، دون الفكرة القديمة عن « القوة » ، فسوف يغير ذلك — لامن خيالهم الفزيائى فحسب ، بل من أخلاقهم وسياساتهم أيضاً ، وسيكون هذا التأثير الأخير لا منطقياً تماماً ، ولكنه مع ذلك لن يكون أقل احتمالاً لهذا السبب عينه ، وتبدو الشمس فى نظرية نيوتن عن النظام الشمسى — أشبه بملك على السكواكب أن تطيع أوامره — أما فى عالم أينشتين فثمة مزيد من الفردية ، وقليل من السكم عن عالم نيوتن . كما إن النشاط فى عالم أينشتين أقل كثيراً منه فى عالم نيوتن أيضاً : فقد رأينا أن الكسل هو القانون الأساسى فى كون أينشتين . وقد أصبحت كلمة « حركى » (دينامى) dynamic تعنى بلغة الصحف نشاطاً وقوياً . ولكن لو أنها كانت تعنى « تصوير مبادئ الديناميكا » ، لكان ينبغى أن تطبق على الشعوب فى الأجواء الحارة أو تلك الذين يجلسون تحت أشجار الموز ينتظرون أن تسقط الثمار فى أفواههم . وآمل أن يعنى الصحفيون — حين يتحدثون فى المستقبل عن شخصية « دينامية » الشخص الذى يحدث أقل اضطراب فى اللحظة الحاضرة . دون أن يفكر فى النتائج البعيدة . وإذا استطعت أن أسهم فى الوصول إلى هذه النتيجة ، فلن يكون ما كتبت عبثاً .

وقد كان من المعتاد أن يستنبط الناس من قوانين الطبيعة الحجج التى يرتكز عليها ما ينبغى أن تفعله . وهذه الحجج تبدو لى خطأ . ذلك أن محاكاة الطبيعة قد تكون مجرد عبودية . ولكن إذا كان للطبيعة — كما صورها أينشتين — أن تكون نموذجاً لنا ، لبدا أن الفوضويين هم أصحاب الحجة الأقوى . والنكون

(١) النظرية الرياضية للهندسة ص ٣٧ — ٣٨ . والجملة الموضوع تحتها خط مكتوبة بالحروف المائلة فى الأصل .

الفزيائي منظم لا لأن هناك حكومة مركزية ، بل لأن كل فرد يهتم بشأنه الخاص .
ووصطدم فيه جسيمن من المادة أبداً ، وإذا اقترب أحدهما من الآخر اقتراباً
لاثيقاً ، تحرك كل منهما بعيداً عن الآخر . ولو أن رجلاً ألقى القبض عليه لأنه
ضرب رجلاً آخر ضربة قاضية أوقعته على الأرض ، فإنه سيكون صادقا من
الناحية العلمية ، إذا دافع عن نفسه بأنه لم يلمسه قط ، وما حدث هو وجود تل
في متصل ، المسكان — زمان ، في منطقة أنف الرجل الآخر ، فكان أن وقع
إلى أسفل التل .

ويبدو أن إلغاء ، القوة ، يتصل بإحلال النظر محل اللمس بوصفه مصدراً
للفكار الفيزيائية ، كما شرحنا ذلك في الفصل الأول . فحين تتحرك صورة في
مرآة ، لا نعتقد أن شيئاً قد دفعها . وفي الأماكن التي توجد بها مرآتان كبيرتان
إحداهما في مواجهة الأخرى . قد نرى انعكاسات لاحصر لها لشيء واحد بعينه .
فلنفترض أن شخصاً يضع قبعة عالية على رأسه يقف بين المرأتين ، فسيكون هناك
عشرون أو ثلاثون قبعة عالية في الانعكاسات . واقترض الآن أن شخصاً أوقع
قبعة ذلك السيد المذهب بعضاً ، في هذه الحالة ستقع العشرون أو الثلاثون قبعة
في نفس اللحظة . وسنعتقد أن الأمر يحتاج إلى قوة ما للإيقاع بالقبعة العالية
الحقيقية ، ولكننا سنعتقد أن القبعات العشرين أو الثلاثين الباقية قد وقعت من
نلقاء نفسها — إن صح هذا التعبير — أو من مجرد رغبة في المحاكاة . فلنحاول
أن نفكر في هذه المسألة بمزيد من الجدوية .

من الجلي أن شيئاً ما يحدث حين تتحرك صورة في مرآة . وتبدو هذه الحادثة
من وجهة نظر البصر من حقيقة تماماً كأنها لم تكن في مرآة . بيد أن شيئاً لم
يحدث من وجهة نظر اللمس أو السمع ، وحين تقع القبعة العالية الحقيقية ، فإنها
تحدث ضجة ، أما الانعكاسات العشرون أو الثلاثون فإنها تسقط دون أن تحدث
صوتاً ، وإذا سقطت القبعة على طرف قدمك ، فسوف تشعر بها ، ولكننا نعتقد
أن الأشخاص العشرين أو الثلاثين في المرأتين لا يشعرون بشيء ، مع أن القبعات
تقع على أطراف أقدامهم أيضاً . غير أن هذا كله صادق بالنسبة لعالم الأفلاك
فهذا العالم لا يحدث أية ضجة لأن الصوت لا يمكن أن ينتقل خلال الفواغ .

كما أنه لا يسبب أية « مشاعر » حسبما نعرف — لأنه لا وجود لشخص في نفس النقطة « للشعور » به . ومن ثم فإن عالم الأفلاك يكاد لا يبدو « حقيقياً » أو « صلباً » كالعالم الموجود في المرآة ، كما أنه لا يحتاج مثله إلى أية « قوة » لكي يجعله يتحرك .

وربما أحس القارىء أنني أنغمس في سفسطة لاغناء فيها ، ولعله يقول : هذه الصورة في المرآة هي على كل حال إنعكاس لشيء صلب والقبة العالية التي توجد في المرآة لا تسقط إلا نتيجة للقوة التي استخدمت بالنسبة للقبة العالية الحقيقية . والقبة العالية الموجودة في المرآة لا تستطيع أن تنغمس في سلوك صنعها ، وإنما عليها أن تكون نسخة من سلوك القبة الحقيقية . وهذا يبين لنا إلى أي حد تختلف هذه الصورة عن الشمس والكواكب . « لأنها » ليست مرغمة على أن تحاكي باستمرار نموذجاً سابقاً . وهكذا عليك أن تتخلى عن التظاهر بأن صورة ما غير حقيقية مثل صورة الأجرام السماوية .

وهناك بالطبع نصيب من الحقيقة في هذا القول ، والنقطة هي أن نكتشف ما هي هذه « الحقيقة » على وجه الدقة . فالصور — بادية — ذى بدء — ليست « خيالية » . حين تشاهد صورة ما ، فمن المؤكد أن أمواجاً ضوئية حقيقية تصل إلى عينك ، وإذا علقت رداء على المرآة فسوف تنقطع هذه الموجات الضوئية عن الوجود . ومع ذلك ، فهناك اختلاف بصرى محض بين « الصورة » والشيء « الحقيقي » . وهذا الاختلاف البصرى مرتبط بمسألة المحاكاة هذه . فأنت حين تعلق ثوباً على المرآة ، فإن هذا لا يؤثر على الشيء « الحقيقي » ولكنك حين تحرك الشيء الحقيقي بعيداً ، فإن الصورة تختفي أيضاً . وهذا يجعلنا نقول إن الموجات الضوئية التي تصنع الصورة لا تنعكس إلا على سطح المرآة ، وإنما لا تأتي حقاً من نقطة خلفها . بل من الشيء « الحقيقي » . ولدينا هنا مثل لمبدأ على جانب عظيم من الأهمية . فعظم حوادث الكون ليست منعزلة ، وإنما أعضاء في مجموعات مماثلة — قل هذا التماثل أو كثيره — من الحوادث ، بحيث أن كل مجموعة ترتبط بطريقة محدودة بمنطقة صغيرة معينة من متصل الزمان . ويمكن ، . هذا هو الجال بالنسبة للموجات الضوئية التي يجعلنا نرى الشيء

وانعكاسه في المرآة ، فكلاهما ينبعث عن الشيء بوصفه مركزاً . وإذا وضعت كرة معتمدة حول الشيء على مسافة معينة ، فإن الشيء وانعكاسه لا يظهران بالنسبة لآية نقطة خارج الكرة . ولقد رأينا أن الجاذبية — على الرغم من أنها لم تعد فعلا عن بعد — فما زالت مرتبطة بمركز ؛ فهناك — إن صح هذا التعبير — تل مرتب ترتيباً متماثلاً يحيط بقمته ، والقمة هي المكان الذي تتصور الجسم فيه ، وهذا المكان مرتبط بمجال الجاذبية موضع البحث . ويجمع الحس السليم — إشاراً للبساطة — الحوادث التي تؤلف مجموعة واحدة بالمعنى السابق . وحين يرى شخصان الشيء نفسه تقع حادثتان مختلفتان ، واسكنهما حادثتان تنتميان إلى مجموعة واحدة ، وترتبطان بمركز واحد بعينه . وهذا ينطبق أيضاً حين يسمع شخصان نفس الضجة . وهكذا يكون الانعكاس في مرآة ما أقل « حقيقة » من الشيء « المنعكس » ، حتى من وجهة نظر بصرية ، لأن الموجات الضوئية لا تنتشر في « جميع » الاتجاهات من المكان الذي يبدو أن فيه الصورة ، وإنما في اتجاهات أمام المرآة فحسب ، وبقدر ما يبقى الشيء المنعكس في مكانه . وهذا يصور لنا فائدة تجميع الحوادث المترابطة حول مركز على النحو الذي ارتأيناه آنفاً .

وحين نفحص التغيرات التي تطرأ في مجموعة من هذه الأشياء نجد أنها نوعان ؛ تغيرات لا تؤثر إلا على عضو من المجموعة ، وتغيرات تحدث تعديلات مترابطة في أعضاء المجموعة كلها . فإذا وضعت شمعة أمام مرآة ، ثم غلقت ثوباً على المرآة ، فإنك لا تغير إلا انعكاس الشمعة كما ترى من أما كن متباينة . وإذا أغمضت عينيك ، فإنك تغير مظهرها بالنسبة لك ، ولا تغير مظهرها بالنسبة لغيرك . وإذا وضعت كرة حمراء حولها على بعد قدم واحد ، فإنك تغير مظهرها على بعد أية مسافة تزيد على قدم . وأنت ، في هذه الحالات جميعاً لا تنظر إلى الشمعة نفسها على أنها قد تغيرت ، والواقع أنك ، في كل هذه الحالات ، تجد أن هناك مجموعات من التغيرات المترابطة بمركز مختلف ، أو بعدد من المراكز المختلفة . وحين تغمض عينيك — مثلاً — فإن عينيك — لا الشمعة — تبدوان مختلفتين بالنسبة لأي مشاهد آخر ؛ ذلك أن مركز التغيرات التي حدثت موجود في عينيك . واسكنك حين تطفىء الشمعة ، فإن مظهرها يتغير بالنسبة لكل مكان ، وفي هذه الحالة يقول إن التغير قد طرأ على الشمعة . والتغيرات التي تطرأ على شيء ما هي

التغيرات التي تؤثر على مجموعة الحوادث كلها التي تتمركز حول هذا الشيء . وهذا كله ليس سوى تفسير للحس السليم ، ومحاولة لشرح ما نعنيه بقولنا إن صورة الشمعة في المرآة أقل « حقيقة » من الشمعة . وليست هناك مجموعة مترابطة من الحوادث موجودة كلها حول المكان الذي تبدو فيه الصورة ، وتتمركز التغيرات التي تطرأ في الصورة عن الشمعة ، لا عن نقطة تتعلق بالمرآة . وهذا يعطى لنا معنى قابلاً للتحقق من صدقه عن القضية القائلة إن الصورة ليست « سوى » انعكاس ، كما تمسكتنا في الوقت نفسه من أن نعد الأجرام السماوية — وإن كنا لا نستطيع إلا أن نراها ولا نستطيع أن نلسها — بوصفها أكثر « حقيقة » من الصورة الموجودة في المرآة .

ونستطيع أن نبدأ الآن في تفسير فكرة الفطرة السليمة عن « تأثير » جسم على آخر ، وهو تفسير يجب أن نقوم به إذا أردنا أن نفهم حقيقة ما يعنيه إلغاء « القوة » . فلنفترض أنك دخلت حجرة مظلمة ، وأدركت زر الكهرباء ؛ حينئذ يتغير مظهر كل شيء في الحجرة . ولما كان كل شيء في الحجرة يصبح مرئياً لأنه يعكس النور الكهربائي ، فإن هذه الحالة بمثابة حقاً لحالة الصورة في المرآة ، فالنور الكهربائي هنا هو المركز الذي تصدر عنه التغيرات جميعاً ، وفي هذه الحالة ، يفسر « التأثير » بما قلناه آنفاً . وأهم من هذه الحالة ، الحالة التي يكون فيها التأثير حركة . فلنفترض أنك أطلقت سراح نمر وسط حشد من الناس حينئذ سوف يتحركون جميعاً ، وسيكون النمر هو مركز حركاتهم المتباينة . وسيستنتج الشخص الذي يرى الناس ولكنه لا يرى النمر ، أن هناك شيئاً طارداً في تلك النقطة . ونقول في هذه الحالة إن للنمر تأثيراً على الناس ، وقد نصف فعل النمر عليهم ، وكأن له طبيعة القوة الطاردة . وأياً كان الأمر ، فنحن نعلم أنهم يلونون بالفرار بسبب شيء يحدث « لهم » ، لا بمجرد أن النمر موجود حيث هو . إنهم يهربون لأنهم يستطيعون أن يروه وأن يسمعوه ، أى لأن موجات معينة تصل إلى أعينهم وإلى آذانهم ، وإذا أمكن أن تصلهم تلك الموجات دون وجود النمر ، فإنهم سيهربون بنفس السرعة ، لأن المنطقة المجاورة لهم ستبدو غير سارة تماماً .

فلنحاول الآن تطبيق اعتبارات مماثلة على جاذبية الشمس . إن « القوة » التي

مارستها الشمس لا تختلف عن القوة التي يمارسها النمر إلا في أنها جاذبة بدلاً من أن تكون طاردة . وبدلاً من أن تفعل بوساطة موجات الضوء أو الصوت ، فإن الشمس تكتسب قوتها الظاهرة من خلال هذه الحقيقة وهي وجود تغيرات في متصل « المكان — زمان » حول الشمس من جميع أقطارها . وهذه التغيرات ، وهي أشد بالقرب من مصدرها ، كصوت النمر سواء بسواء ، وكلما ابتعدنا . قلت شيئاً فشيئاً ، والقول بأن الشمس « تسبب » هذه التغيرات في متصل « المكان — زمان » لا يضيف شيئاً إلى معرفتنا . فما نعرفه هو أن التغيرات تجري وفقاً لقاعدة معينة ، وأنها تتجمع بصورة متماثلة حول الشمس بوصفها مركزاً . ولا تضيف لغة العلة والمعلول إلا عدداً من التخيلات الخارجة عن الموضوع خروجاً تاماً ، إذ ترتبط بالإرادة ، والتوتر العضلي ، وبأشياء من هذا القبيل . وما نستطيع أن نؤكد — قل ذلك أو أكثر — هو مجرد الصيغة التي يتغير وفقاً لها متصل الزمان والمكان بوساطة وجود المادة الجاذبة . وأصح من ذلك : أننا نستطيع أن نؤكد أي نوع من أنواع متصل « المكان — زمان » ، يكون ، حضور المادة الجاذبة . وحين لا يكون متصل « المكان — زمان » ، إقليدياً على وجه الدقة — في منطقة معينة ، ولكنه ذو طابع « لا إقليدي » يظهر أكثر فأكثر كلما اقتربنا من مركز معين ، وحين يخضع الافتراق عن إقليدس لقانون معين ، فإننا نصف هذه الحالة وصفاً موجزاً بأن نقول إن هناك قوة جاذبة في المركز ، بيد أن هذا ليس سوى مجرد تعليل مختصر لما نعرفه . وما نعرفه يتعلق بالآثار التي « لا توجد » فيها المادة الجاذبة ، ولا يتعلق بالمكان الذي توجد فيه ، وهكذا ، فإن لغة العلة والمعلول (التي تعد « القوة » حالة جزئية منها) ليست إلا اختزالاً مريحاً لأغراض معينة ، ولا تمثل أي شيء له وجود حقيقي في العالم الفيزيائي .

وماذا عن المادة ؟ هل المادة لا تزيد هي أيضاً عن كونها اختزالاً مريحاً ؟ ولما كان هذا السؤال سؤالاً كبيراً ، فإنه يتطلب فصلاً قائماً بذاته .

الفصل الرابع عشر

ما المادة ؟

السؤال « ما المادة ؟ » من النوع الذي يسأله الميتافيزيقون ، ويحجب عليه في كتب هائلة تتسم بغموض يحل عن التصديق . بيد أنني لا أسأل هذا السؤال بوصفي ميتافيزيقياً ، وإنما أسأله كما يسأله شخص يريد أن يكتشف ماهي الاخلاقيات السكامنة وراء الفزياء الحديثة ونظرية النسبية على وجه التخصيص . ومن الجلي بما عرفناه عن هذه النظرية أن المادة لا يمكن أن تتصورها كما اعتدنا على تصورها من قبل . وأعتقد أننا نستطيع أن نقول الآن ما هو التصور الجديد .

كان هناك تصوران تقليديان للمادة ، وكان لكل منهما أنصاره منذ أن بدأ التفكير العلمي النظري — كان هناك الذريون الذين يعتقدون أن المادة تتألف من كتل صغيرة جداً لا يمكن تقسيمها أبداً ، وكان من المفروض أن هذه الكتل يصطدم بعضها ببعض الآخر ، ثم ترتد بطرق متعددة . ولم يعد من المفروض — بعد نيوتن — أن تصطدم هذه الكتل بعضها ببعض الآخر . فعلاً ، ولكنها تتجاذب وتتنافر ، وتتحرك في أفلاك بعضها حول البعض الآخر وكان هناك أوائك الذين يعتقدون أن شيئاً من المسادة في كل مكان ، وأن الفراغ الحقيقي مستحيل . وكان ديكارت يعشق هذا الرأي ، ويعزو حركات الكواكب إلى دوامات في الأثير . وتسببت نظرية نيوتن في الجاذبية في الغض من قيمة الرأي القائل بأن المادة موجودة في كل مكان ، وخصوصاً عندما اعتقد نيوتن وتلاميذه أن الضوء راجع إلى جزيئات حقيقية تنتقل من مصدر الضوء . واسكن ، حين دحضت نظرية الضوء ، وثبت أن الضوء يتألف من موجات ، بعث الأثير من جديد حتى يوجد شيء يمكن أن يتموج . وزاد نصيب الأثير من الاحترام حين وجد أنه يلعب نفس الدور في الظواهر الكهرومغناطيسية ، كما يفعل ذلك في انتشار الضوء . بل كان من المأمول أن تكون الذرات نوعاً من الحركة في الأثير . وفي هذه المرحلة ، كان الرأي الذري عن المادة يعاني في جملته الأمرين .

فإذا تركنا الآن نظرية النسبية جانباً وجدنا أن الفزياء الحديثة قد زودتنا ببرهان عن التركيب الذرى للمادة العادية ، دون أن تفقد الحجاج المؤيدة لفكرة الاثير الذى لا يعزى إليه مثل هذا التركيب . وكانت النتيجة نوعاً من التوفيق بين الرايين ، فأحدهما ينطبق على ما يسمى المادة « الغليظة » ، والآخر ينطبق على الاثير . ولم يكن ثمة شك بالنسبة للإلكترونات والبروتونات ؛ وإن لم يكن من الممكن — كما سنرى ذلك قريباً — تصورها كما كانت الذرات تتصور تصوراً تقليدياً . والحقيقة هى — على ما أعتقد — أن النسبية تتطلب التخلي عن التصور القديم « للمادة » الذى أصابته عدوى الميتافيزيقا المرتبطة بالجوهر ، ويمثل وجهة نظر ليست ضرورية فى الواقع فى معالجة الظواهر . وهذا هو ما علينا الآن أن نبحثه .

كانت قطعة المادة — فى الراى القديم — شيئاً يبقى كله خلال الزمان . ولا تكون فى أكثر من مكان واحد فى زمن معين . ومن الجلى أن هذه الطريقة فى النظر إلى الأشياء مرتبطة بالانفصال التام بين المكان والزمان الذى كان الناس يؤمنون به سابقاً . وحين نستبدل متصل « الزمان — مكان » بالزمان والمكان ، فإن من الطبيعى أن نتوقع اشتقاق العالم الفزيائى من مقومات محدودة فى المكان والزمان على السواء . وهذه المقومات هى ما نسميه « الحوادث » . والحادثة لا تبقى ولا تتحرك كقطعة المادة التقليدية ، إنها توجد فى اللحظة التى تقع فيها ، ثم تنتهى . وهكذا تتحلل قطعة المادة إلى سلسلة من الحوادث . وكما كان الجسم الممتد — فى الراى القديم — مكوناً من عدد من الجسيمات ، فكذلك كل جسيم — لأنه ممتد فى الزمان — ينبغى أن ينظر إليه على أنه مؤلف مما يمكن أن نسميه « جسيمات — حادثة » event-particles ومجموعة سلاسل هذه الحوادث هى التى تؤلف تاريخ الجسيم كله ، وينظر إلى الجسيم « على أنه » تاريخه ، لا على أنه كيان ميتافيزيقى تحدث له تلك الحوادث . وقد أصبح هذا الراى ضرورياً نظراً لأن النسبية ترغمنا على أن نضع الزمان والمكان فى مستوى واحد لم يكونا عليه فى الفزياء القديمة .

وينبغى أن يربط هذا المطلب المجرد بالحقائق المعروفة عن العالم الفزيائى .

والآن ، ما هي هذه الحقائق المعروفة ؟ فلنسلم بأن الضوء يتكون من موجات تتحرك بالسرعة المتلقاة ، ثم إننا نعرف قدراً كبيراً عما يجري في أجزاء متصل الزمان — مكان — ، حيث لا توجد مادة ، نحن نعرف مثلاً أن هناك وقائع دورية (هي موجات الضوء) تخضع لقوانين معينة. هذه الموجات الضوئية تبدأ من الذرات ، وتمسكنا النظرية الحديثة عن تركيب الذرة من معرفة قدر كبير عن الظروف التي تبدأ فيها ، والأسباب التي تحدد أطوال موجاتها . ونحن نستطيع أن نعرف لا كيف تنتقل الموجات الضوئية فحسب ، بل كيف يتحرك مصدرها بالنسبة إلينا ، ولكنني حينما أقول ذلك أفترض أننا نستطيع أن نتعرف على مصدر للضوء بوصفه واحداً لم يتغير في وقتين مختلفين اختلافاً طفيفاً ، وهذا هو — على كل حال — ما ينبغي بحثه .

رأينا في الفصل السابق كيف أن مجموعة من الحوادث المترابطة يمكن أن يتم تكوينها بحيث تكون كلها متعلقة بعضها ببعض الآخر ، وكلها مرتبطة حول مركز في متصل الزمان — مكان . ومثل هذه المجموعة من الحوادث ستكون وصول موجات الضوء المنبعثة من ومضة ضوء قصيرة ، إلى أما كن متباينة. ولسنا بحاجة إلى افتراض أن شيئاً خاصاً يحدث عند المركز . ومن المؤكد أننا لا نحتاج إلى افتراض أننا نعلم « ما » يحدث هناك . إن ما نعرفه — كمسألة من مسائل الهندسة — هو أن مجموعة الحوادث — موضع الكلام — مرتبة حول مركز كالدوائر التي تتسع في بركة ماء حين تلسها ذبابة ونستطيع أن نخلق افتراضاً واقعة تكون قد حدثت عند المركز ، ونشرع في وضع قوانين ، ننقل بمقتضاها الاضطراب الناتج . وستبدو هذه الواقعة الافتراضية حينذاك بالنسبة للفترة السليمة على أنها « سبب » الاضطراب ، وستعد أيضاً حادثة في تاريخ حياة الجسم المادي الذي نفترض أنه يحتل مركز هذا الاضطراب .

والآن لا نجد أن موجة الضوء تنتقل إلى الأمام من مركز ما طبقاً لقانون معين فحسب ، بل إنها تتبع أيضاً — وبوجه عام — بموجات ضوئية أخرى مماثلة لها أشد المماثلة . فالشمس — مثلاً — لا تغير مظهرها فجأة ، بل إنه حين تعبرها سحباً أثناء ريح عاصفة ، يكون الانتقال تدريجياً ، وإن يكن سريعاً . وعلى

هذا النحو تقوم علاقة بين مجموعة من الوقائع المرتبطة بمرز عند نقطة واحدة من متصل « الزمان — مكان » ، وبين مجموعات مماثلة جداً توجد مراكزها في نقاط مجاورة من متصل « المكان — زمان » . ولكل من هذه المجموعات الأخرى تختزع الفطرة السليمة وقائع افتراضية مماثلة لتحتل مراكزها ، وتقول إن هذه الوقائع الافتراضية جميعاً جزء من تاريخ واحد ، أى أنها تختزع جسيماً افتراضياً تحدث له تلك الوقائع الافتراضية . وبهذا الاستعمال المزدوج للافتراض الذى لا ضرورة له تماماً فى كل حالة من تلك الحالات ، نصل — به وحده — إلى ما يمكن أن يسمى « مادة » بالمعنى القديم لهذه الكلمة .

وإذا أردنا أن نتحاشى الافتراضات التى لا ضرورة لها ، قلنا إن الذرة فى لحظة معينة « هى » الاضطرابات المتباينة فى الوسط المحيط التى يقال عنها — باللغة العادية — إنها « تتجت » عنها . بيد أننا لن نأخذ هذه الاضطرابات فى تلك اللحظة المعينة بالنسبة لنا ، لأن ذلك سيجعلها تتوقف على المشاهد ، ولكننا سنتحرك بدلاً من ذلك متجهين خارج الذرة بسرعة الضوء ، على أن نأخذ كل اضطراب نجده فى كل مكان حالما نصل إليه . ومجموعة الاضطرابات المتشابهة تشابهاً وثيقاً ، والتى لها تقريباً نفس المركز ، ذلك المركز الذى نعره عليه موجوداً قبل ذلك أو بعد ذلك بقليل ، سيعرف بأنه الذرة فى لحظة ، قبل أو بعد ذلك بقليل . وعلى هذا النحو نحافظ على قوانين الفيزياء جميعاً دون اللجوء إلى افتراضات لا ضرورة لها ، أو إلى كيانات مستنبطة ، ونظل فى انسجام مع مبدأ الاقتصاد العام الذى مكن نظرية النسبية من التخلص من كثير من الشوائب التى لا غناء فيها .

وتتخيل الفطرة السليمة أنها حين ترى منضدة ، فإنها ترى منضدة وهذا وهم غليظ . ذلك أنه حين ترى الفطرة السليمة منضدة ، فإن موجات ضوئية معينة تصل إلى العينين ، وهاتان مجموعتان على نحو يرتبط فى خبرتهما السابقة بإحساسات معينة من اللمس ، وكذلك بشهادة أناس آخرين بأنهم قد رأوا المنضدة بدورهم ، بيد أن شيئاً من هذا لا يحملنا إلى المنضدة نفسها على الإطلاق . فالموجات الضوئية قد سببت أحداثاً فى عيوننا ، وهذه سببت أحداثاً فى عصبنا البصرى ، وهذا سبب بدوره أحداثاً فى المخ . وأى واحد من هذه الأشياء يحدث بدون التهديدات

المعتادة ، يجعلنا نشعر بالإحساسات التي نسميها « رؤية المنضدة » . حتى لو لم تكن هناك منضدة . (وبالطبع لو أن المادة فسرت عموماً بأنها مجموعة من الأحداث ، فينبغي أن يطبق هذا أيضاً على العين ؛ وعلى العصب البصري وعلى المخ) . أما فيما يتعلق بإحساس اللمس حين نضغط على المنضدة بأصابعنا ؛ فإن هذا عبارة عن اضطراب كهربائي يحدث للإلكترونات وبرتونات أطراف أصابعنا . وينتج طبقاً للفزياء الحديثة عن تجاوز الإلكترونات والبرتونات في المنضدة . ولو أثر هذا الاضطراب نفسه في أطراف أصابعنا بأية طريقة أخرى ، فسوف نشعر بتلك الإحساسات على الرغم من عدم وجود أية منضدة . ومن الواضح أن شهادة الآخرين مسألة ثانوية . ولو مثل شاهد في محكمة عما إذا كان قد شاهد واقعة معينة ، فلن يسمح له بأن يجيب بأنه يعتقد ذلك ، لأن شهادة الآخرين تؤكد وقوع هذه الحادثة . وعلى أية حال ، فإن الشهادة تتألف من موجات صوتية ، وتتطلب تفسيراً نفسياً ، تطلبها للتفسير الفزيائي سواء بسواء ، ومن ثم فإن ارتباطها بالموضوع غير مباشر إلى حد بعيد . ولهذا الأسباب جميعاً ، حين نقول إن رجلاً « يرى منضدة » ، فإننا نستخدم تعبيراً مختصراً اختصاراً شديداً ، يخفي وراءه استدلالات معقدة صعبة ، يمكن أن تكون صحتها موضع سؤال .

يبد أننا معرضون لخطر التورط في المسائل النفسية ، وهي مسائل ينبغي أن نتجنبها كلما استطعنا إلى ذلك سبيلاً . فلنعد إذن إلى وجهة النظر الفزيائية البحتة .

وما أريد أن أقترحه يمكن أن يوضع على النحو التالي : إن كل ما يحدث في مكان آخر ، نتيجة لوجود ذرة ، يمكن كشفه تجريبياً ، أو على الأقل نظرياً ، اللهم إلا إذا كان يحدث بطرق خفية معينة . غير أن ما يحدث داخل الذرة (إذا كان ثمة ما يحدث هناك) فإن من المحال معرفته على الإطلاق . فليس من الممكن تصور جهاز يمكن أن نحصل به ولو على لمحة من ذلك ، والذرة تعرف « بتأثيراتها » . بيد أن كلمة « تأثيرات » تلتزم إلى رأى في السببية لا يتلاءم مع الفزياء الحديثة ، وعلى الأخص لا يتلاءم مع نظرية النسبية . وكل ما لنا

الحق في أن نقوله هو أن مجموعات معينة من الأحداث تحدث معاً ، أى في أجزاء متجاورة من متصل المكان — زمان ، وقد ينظر مشاهد معين إلى عضو من المجموعة قبل عضو آخر ، غير أن مشاهداً آخر قد يحكم على النظام الزمني حكماً مختلفاً . وحتى حين يكون النظام الزمني واحداً بالنسبة للمشاهدين جميعاً ، فإن كل ما لدينا حقاً عبارة عن رابطة بين حادثتين يمكن أن تصدق ، أماماً وخلفاً على السواء . وليس من الحق أن الماضي يحدد المستقبل بمعنى آخر غير المعنى الذي يحدد به المستقبل الماضي ، والاختلاف الظاهر لا يرجع إلا إلى جهلنا وحده ، لأننا نعرف عن المستقبل أقل مما نعرفه عن الماضي . وهذا شيء عرضي بحيث ؛ فربما وجدت كائنات تتذكر المستقبل لتستنبط منه الماضي . ومشاعر مثل هذه الكائنات في تلك الأمور ، تكون حيثئذ على النقيض من مشاعرنا تماماً ، ولكنها لن تكون زائفة لهذا السبب .

ومن الواضح وضوحاً معقولاً أن جميع حقائق الفزياء وقوانينها يمكن أن تفسر دون افتراض أن المادة شيء آخر سوى مجموعات من الأحداث ، بحيث تكون كل حادثة على نحو ينبغي أن ننظر إليه طبيعياً بوصفه داتجاً ، عن المادة موضوع الكلام . وهذا لا يقتضى أى تغير في رموز أو صيغ الفزياء ؛ فالمسألة مجرد تفسير للرموز .

وهذا التوسع في التفسير سمة مميزة للفزياء الرياضية . فما نعرفه عبارةً عن علاقات منطقية معينة مجردة تجريداً شديداً . علاقات نعبر عنها في معادلات رياضية ونعرف أيضاً أننا نصل — عند نقاط معينة — إلى نتائج يمكن اختبارها تجريبياً . خذ مثلاً مشاهدات الكسوف التي تأسست عليها نظرية أينشتين عن انحناء الضوء . وكانت المشاهدة الفعلية تتألف من القياس الدقيق لأبعاد معينة على شرائح فوتوغرافية معينة ، وكانت المعادلات المطلوب التحقق من صدقها تتعلق بمسار الضوء في عبوره على مقربة من الشمس . ومع أنه ينبغي تفسير الجزء الخاص من هذه المعادلات — وهو الجزء الذي يعطى النتيجة الملحوظة — دائماً بنفس الطريقة ، فقد يكون الجزء الآخر منها قابلاً لمجموعة متنوعة كبيرة من التفسيرات . . والمعادلات التي تعطى حركات الكواكب السيارة تكاد تكون هي نفسها في نظرية أينشتين ونظرية نيوتن على السواء . يبدو أن معنى المعادلات مختلف تمام الاختلاف .

ويمكن أن يقال — على وجه العموم — إننا نستطيع في المعالجة الرياضية للطبيعة. أن نكون أشد يقيناً من أن معادلاتنا صحيحة تقريباً من يقيننا من صحة هذا التفسير أو ذاك لها . وكذلك بالنسبة للحالة التي يتعرض لها هذا الفصل ، ذلك أن السؤال الذي يتعلق بطبيعة الإلكترون أو البروتون لا يجاب عليه إطلاقاً حين نعرف كل ما تستطيع الفزياء الرياضية أن تقوله عن قوانين حركاته ، وقوانين تفاعله مع بيئته . والإجابة المحددة الحاسمة على سؤالنا ليست ممكنة لأن مجموعة متنوعة من الأجوبة يمكن أن تتفق مع حقيقة الفزياء الرياضية . ومع ذلك فإن بعض الأجوبة مفضل على البعض الآخر ، وذلك لأن بعضها يؤيده احتمال أعظم . وقد كنا نسعى في هذا الفصل إلى تعريف المادة بحيث ينبغي أن يكون هناك ما يسمى بهذا الاسم ، لو أن معادلات الفزياء صادقة . فإذا كنا قد وضعنا تعريفنا بحيث إن جسيماً من المادة ينبغي أن يكون ما يعتقد المرء أنه كتلة جوهرية صلبة محددة، فإنه ما كان ينبغي أن نكون «موقنين» من أن مثل هذا الشيء موجود. ولهذا السبب كان تعريفنا — على الرغم مما قد يبدو عليه من التعقيد — مفضلاً من وجهة نظر الاقتصاد المنطقي والحذر العلي .

الفصل الخامس عشر

النتائج الفلسفية

ليست النتائج الفلسفية لنظرية النسبية عظيمة أو مذهلة كما يعتقد أحياناً، فهي تلقى ضوءاً ضئيلاً جداً على المنازعات الموقرة كتلك المنازعات القائمة بين الواقعية والمثالية. ويعتقد بعض الناس أنها تؤيد رأى « كانت » القائل بأن المكان والزمان « ذاتيان » subjective وأنهما شكلان من « أشكال العيان » forms of intuition وأعتقد أن مثل هؤلاء الناس قد أضلّتهم الطريقة التي يتحدث بها كتاب النسبية عن « المشاهد » فمن الطبيعي افتراض أن المشاهد كائن إنسانى ، أو على الأقل افتراض أنه عقل ، ولكنه من الممكن أن يكون لوحة فوتوغرافية أو ساعة . وهذا معناه إن النتائج الغريبة المتعلقة بالاختلاف بين وجهة نظر ووجهة نظر أخرى ، تتم بوجهة النظر بالمعنى المستخدم للأدوات الفيزيائية كما هو مستخدم بالنسبة للناس ذوى الإدراكات الحسية . « فالذاتية » المذكورة فى نظرية النسبية هى ذاتية « فيزيائية » من الممكن أن توجد إن لم تكن ثمة عقول أو حواس فى العالم .

وفضلاً عن ذلك فإنها ذاتية محدودة جداً ، والنظرية لا تقول إن « كل شيء » نسبي ، ولكنها على العكس تعطى طريقة فنية (تكنيك) للتفرقة بين ما هو نسبي وبين ما ينتسب لجاذبة فيزيائية صميمة . فإذا كنا سنقول إن النظرية تؤيد « كانت » فى رأيه عن المكان والزمان ، فعلياً أن تقول إنها تدحضه فيما يتعلق بمتصل « المكان — زمان » . ولا أرى سبباً يدعو الفلاسفة ألا يتمسكوا — فى مثل هذه القضايا — بالآراء التى سبق أن اعتنقوها . فلم تكن ثمة حجج حاسمة تؤيد أحد الجانبين من قبل ، ولا توجد مثل هذه الحجج الآن ، والتمسك برأى منهما يدل على مزاج قطعى أكثر مما يدل على مزاج على .

ومع ذلك ، فإنه حينها تصبح الأفكار المنبثقة في مؤلفات أينشتين مألوقة ، كما ستصبح حين تلقن في المدارس ، فإن تغييرات معينة في عاداتنا الفكرية سوف تنتج عن ذلك ، وسيكون لها أهمية عظيمة على المدى الطويل .

وهناك شيء ستسفر عنه هذه التغييرات وهو أن الفزياء تخبرنا عن العالم الفزيائي أقل كثيراً مما كنا نعتقد . وسينتهي الأمر بالمبادئ العظمى ، جميعاً في الفزياء التقليدية إلى أن تكون أشبه بالقانون الأعظم ، القائل بأن هناك دائماً ثلاثة أقدام في الiardة ، وسيظهر أن بعض القوانين الأخرى باطلة تماماً . ويمكن أن يفيدنا قانون بقاء الكتلة في تصوير هذين المآلين التعسفين اللذين يمكن أن ينتهي إليهما قانون ، ما . وقد اعتدنا على تعريف الكتلة بأنها كمية المادة ، وهذه الكمية لا تزيد ولا تنقص أبداً كما تثبت التجربة ذلك . بيد أن ازدياد الدقة في القياسات الحديثة أسفر عن حدوث أمور عجيبة . فقد وجد في المقام الأول أن الكتلة — وفقاً للقياس — تزداد مع ازدياد السرعة ، ووجد أن هذا النوع من الكتلة هو الطاقة نفسها حقاً . وهذا النوع من الكتلة ليس ثابتاً بالنسبة لجسم معين . وأياً كان الأمر ، فقد كان ينبغي النظر إلى القانون نفسه على أنه تحصيل حاصل ، ومن طبيعة القانون القائل إن هناك ثلاثة أقدام في الiardة ، وهذا ناتج عن طرائقنا في القياس Measurement ولا يعبر عن خاصية حقيقية من خواص المادة . والنوع الآخر من الكتلة الذي يمكن أن نسميه الكتلة الحقيقية ، هو الكتلة التي يجدها مشاهد يتحرك مع الجسم . وهذه هي الحالة الأرضية العادية حيث لا يكون الجسم الذي تزنه طائراً في الهواء . وتمكاد تكون الكتلة الحقيقية ، لجسم ما ثابتة ، واسكنها ليست ثابتة تماماً . ومن الممكن افتراض أنه لو كان لديك أربعة أوزان يزن كل منها رطلاً ، ووضعتها معاً كلها في الميزان ، فإنها ستزن كلها أربعة أرطال . وهذا محض خيال ، ذلك أنها تزن أقل ، وإن لم يكن أقل بمقدار يمكن اكتشافه بأدق القياسات . أما في حالة أربع ذرات من الأيدروجين حين توضع معاً لتكوين ذرة هليوم واحدة ، فإن هذا النقص يكون ملحوظاً ، إذ أن ذرة الهليوم تزن أقل — بصورة يمكن قياسها من أربع ذرات منفصلة من الأيدروجين .

وبالإجمال ، لقد تحطمت الفزياء التقليدية إلى جزأين : تحصيل الحاصل ، والجغرافيا .

وليس العالم الذى تقدمه نظرية النسبية لخيالنا عالم « أشياء » فى حركة ، بقدر ما هو عالم « حوادث » . ومن الحق أنه مازل هناك جسيمات يبدو أنها تبقى ، بيد أن هذه الجسيمات (كما رأينا فى الفصل السابق) يمكن تصورها حقاً بوصفها خيوطاً من الحوادث المترابطة ، وكأنها نغمات متعاقبة فى أغنية . « الحوادث » هى النسيج الذى تتألف منه فزياء النسبية . وبين كل حادثتين لا تبعد إحداها عن الأخرى بعداً شديداً توجد علاقة قابلة للقياس — سواء فى النظرية العامة أو الخاصة — وتسمى « الفاصل » ويبدو أن هذا الفاصل هو الحقيقة الفيزيائية التى تعد البرهنة من الزمان والمسافة فى المكان ممثليْن غامضين لها ، قل هذا الغموض أو كثر . ولا يوجد بين حادثتين متباعدتين أى فاصل واحد محدد ، وإنما هناك طريقة واحدة للتحرك من حادثة إلى الأخرى — وهى الطريقة التى تجعل مجموع الفواصل الصغيرة جميعاً على طول الطريق أكبر مما لو سلكنا أى طريق آخر . وهذا الطريق يسمى خط جيوديسى وهو الطريق الذى يختاره الجسم إذا ترك لنفسه .

وفزياء النسبية كلها يمكن أن تعد مسألة تقوم على التقدم « خطوة خطوة » أكثر مما كانت عليه الفزياء أو الهندسة فى سالف الأيام . إذ ينبغى أن تحل محل خطوط إقليدس المستقيمة أشعة الضوء ، التى لاتصل إلى معيار إقليدس فى الاستقامة حين تعبر بالقرب من الشمس أو من أى جسم ثقيل آخر . وما زال من المعتقد أن مجموع زوايا المثلث قائمتان فى المناطق الصغيرة جداً من المكان الفارغ ، لافى أية منطقة ممتدة . وما من مكان نستطيع أن نجد فيه إقليدس صادقاً تمام الصدق . والقضايا التى اعتدنا على البرهنة عليها بالقياس قد أصبحت الآن إما مواصفات وإما مجرد حقائق تقريرية تتحقق من صدقها بالمشاهدة .

ومن الحقائق الغريبة — التى ليست نظرية النسبية مثلها الوحيد — أنه كلما تقدم التفكير ، فإن دعواه فى القدرة على إثبات الحقائق تضعف ، وتضعف . وكان من المعتقد عادة أن المنطق يعلننا كيف نجرى الاستنتاجات ، ولكنه يعلننا الآن ، كيف لا نجرى الاستنتاجات . والحيسوانات

والإطفال يميلون ميلاً رهيباً إلى الاستنتاج : فالحصان يدهش دهشة لا أحد لها إذا استدرت به استدارة غير مألوفة . وحين بدأ الناس في التفكير ، حاولوا تبرير الاستنتاجات التي استخرجوها دون تفكير في عصورهم المبكرة . وقد نتج قدر كبير من الفلسفة الرديئة والعلم الرديء عن هذا النزوع . والمبادئ العظمى مثل تجانس الطبيعة ، وقانون السببية الكلية ، law of universal causation وما إلى ذلك ، ما هي إلا محاولات لتدعيم اعتقادنا في أن ما حدث كثيراً من قبل سيحدث مرة أخرى ، وهذا الاعتقاد ليس آمناً في الأساس الذي يقوم عليه من اعتقاد الحصان في أنك سوف تدور الدورة التي تأخذها عادة . وليس من اليسير أن نرى ما يحل محل هذه المبادئ الزائفة في تطبيق العلم ، ولكن ربما أعطتنا نظرية النسبية لمحة عن نوع الشيء الذي يمكن أن نتوقعه . ولم يعد للسببية — بمعناها القديم — مكان في الفزياء النظرية . وهناك بالطبع شيء آخر يحل محلها ، ولكن يبدو أن هذا البديل يقوم على أساس تجريبي أفضل من الأساس الذي كان يقوم عليه المبدأ القديم .

وينبغي أن يؤثر انهيار فكرة الزمان الواحد الشامل لكل شيء ، والذي يمكن أن تؤرخ به جميع حوادث الكون — ينبغي أن يؤثر في المدى الطويل على آرائنا في العلة والنتيجة وفي التطور ، وفي مسائل أخرى كثيرة . وربما توقف هذا السؤال — مثلاً — عما إذا كان ثمة تقدم في الكون بوجه عام — ربما توقف على اختيارنا لمقياس للزمان . فإذا اخترنا ساعة من بين عدد من الساعات تتساوى في دقتها ، فربما وجدنا الكون يتقدم بالسرعة التي يعتقد أشد الأمريكيين تفاؤلاً أن الكون يتقدم بها ، وإذا اخترنا ساعة أخرى لا تقبل عن ذلك دقة ، فربما وجدنا أن الكون يسير من سيء إلى أسوأ بالسرعة التي يتخيلها أشد السلافيين سوداوية . وهكذا نجد أن التفاؤل والتشاؤم لا يتضغان بالصدق أو بالكذب وإنما يتوقفان على اختيار الساعات .

ويؤثر ذلك على نمط معين من العواطف تأثيراً مدمراً ، والشاعر يتحدث عن :

وحدث إلهي واحد بعيد

تتحرك صوبه الخليفة بأسرها .

ولكن إذا كانت الحادثة بعيدة بعداً كافياً ، والخلقة تتحرك بسرعة كافية فإن بعض الأجزاء سوف تحكم بأن هذه الحادثة قد وقعت فعلاً ، بينما ستحكم بعض الأجزاء الأخرى بأنها مازالت في طي المستقبل . وهذا يفسد ذلك البيت من الشعر ، وكان ينبغي أن يكون الشطر الثاني هكذا :

« تتحرك صوبة بعض أجزاء الخلقة ، بينما .

تتحرك أجزاء أخرى متجاوزة إياه . »

بيد أن هذا لا يغني شيئاً ، وأعتقد أن العاطفة التي يمكن أن يحطمها قليل من الرياضة ليست عاطفة حقيقية ، أو ذات قيمة . غير أن هذا الضرب من الجدل قد يؤدي إلى نقد العصر الفيكتوري ، وهذا موضوع يخرج عن نطاق بحثي .

وأكرر ، أن مانعرفه عن العالم الفزيائي أشد تجريداً بكثير مما كان يفترض من قبل فهناك بين الأجسام تقع حوادث ، كالموجات الضوئية ، وعن « قوانين » هذه الحوادث نعرف شيئاً ما بالقدر الذي يمكن أن نعبر عنه في معادلات رياضية . أما عن « طبيعة » هذه الحوادث فلا نعرف شيئاً ، وعن الأجسام نفسها ، نعرف القليل — كما رأينا في الفصل السابق — بحيث لا نستطيع التأكد من أنها شيء ما : فربما كانت مجرد مجموعات من الحوادث في أما كن أخرى ، تلك الحوادث التي ينبغي أن نعدها آثارها على نحو طبيعي . ونحن نفسر العالم بالطبع تفصيلاً تصويرياً pictorially ، أعني أننا نتخيل ما يجري في الكون شبيهاً بما نراه ، غير أن هذا التشابه لا يمكن أن يمتد في الواقع إلا إلى بعض الصفات المنطقية الصورية التي تعبر عن البناء ، بحيث إن كل ما نستطيع أن نعرفه هو بعض السمات العيانية المعينة لتغيراته . ولعلنا لو ضربنا مثلاً لأمكن توضيح هذه المسألة . هناك بين مقطوعة الموسيقى الأوركستالية كما تعزف ، وبين هذه المقطوعة نفسها من الموسيقى كما تطبع في المدونة الموسيقية تشابهاً معيناً ، يمكن أن يوصف بأنه تشابه في البناء ، وهذا التشابه قائم على نحو يمكنك معه — إذا كنت تعرف القواعد — أن تستنتج الموسيقى من المدونة ، أو المدونة من الموسيقى . ولكن ، فلنفترض أنك أصم منذ ولادتك ، ولكنك تعيش بين أهل الموسيقى . حيثئذ تستطيع أن تفهم — إذا كنت قد تعلمت الكلام أو قراءة حركة الشفاه أن المدونات الموسيقية تمثل

شيئاً مختلفاً عن نفسها من حيث الكيفية intrinsic الأصلية (أو الذاتية) ، وإن تكن مماثلة في البناء (١) . وستكون قيمة الموسيقى متعذرة تماماً على تخيلك ، ولكنك تستطيع أن تستنبط سماتها الرياضية جميعاً ، ما دامت هي نفس السمات الموجودة في المدونة . معرفتنا بالطبيعة شيء مشابه لذلك ، فنحن نستطيع أن نقرأ المدونات ، وأن نستنبط كل ما يستطيع الشخص الأصم أن يستنبطه عن الموسيقى ، ولكننا لا نمتلك المزايا التي استمدتها من اختلاطه بأهل الموسيقى . ونحن لا نستطيع أن نعرف ما إذا كانت الموسيقى التي تمثلها المدونات جميلة أو بشعة ، وربما ، لم نكن نستطيع التأكد تماماً — في نهاية التحليل — من أن المدونات تمثل أى شيء سوى نفسها . غير أن هذا شك لا يستطيع الرجل الفزيائي — بقدرته المهنية — أن يسمح لنفسه بالتفكير فيه .

فإذا سلينا بأقصى ما نستطيع أن تدعيه الفزياء نفسها ، فإنها لا تخبرنا بذلك الذي يتغير ، أو ماهى حالاته المتباينة ، إنها لا تنبئنا بشيء آخر سوى أن التغيرات يتبع بعضها البعض الآخر دورياً ، أو أنها تنتشر بسرعة معينة . وحتى الآن لم نبلغ بعد نهاية العملية الخاصة بانتزاع ما هو محض خيال ، لكي نصل إلى لباب المعرفة الفعلية الحقيقية . ولقد أنجزت نظرية النسبية قدراً كبيراً جداً في هذا المجال ، وهى بهذا العمل قد قربتنا أكثر فأكثر إلى البناء البحت الذي هو هدف الرياضى — لا لأنه الشيء الوحيد الذي يهتم به بوصفه إنساناً ، ولكن لأنه الشيء الوحيد الذي يستطيع التعبير عنه في معادلات رياضية . ولكن على قدر ما أوغلنا في اتجاه التجديد ، فقد يكون علينا أن نتوغل إلى أبعد من ذلك .

ولقد اقترخت — في الفصل السابق — ما يمكن أن يسمى التعريف الأدنى للمادة ، أعنى التعريف الذي تكون للمادة فيه — إن صح هذا التعبير — أقل قدر من الجوهر ، بما يتفق مع حقيقة الفزياء . وفى اعتناقنا لتعريف من هذا النوع ، نؤثر بجانب السلامة : ذلك أن مادتنا الهزيلة سوف توجد ، حتى ولو كان هناك شيء أقوى من ذلك موجوداً أيضاً . لقد حاولنا أن نجعل تعريفنا للمادة أشبه بثريد إيزابلا كما وصفته «جين أوستن» ، «رقيقاً» ، ولكنه ليس رقيقاً

(١) لتعريف كلمة «بناء» Structure راجع كتاب المؤلف «مقدمة للفلسفة الرياضية» .

جداً ، ومع ذلك ، تقع في الخطأ إذا أكدنا تأكيداً قاطعاً أن المادة ليست أكثر من ذلك . وكان ليبتس يعتقد أن قطعة من المادة هي حقاً مستعمرة من الأرواح ، وليس ثمة ما يثبت أنه كان على خطأ ، وإن لم يكن ثمة أيضاً ما يثبت أنه كان على حق : فنحن لا نعرف عنها في هذا الاتجاه أو ذاك أكثر مما نعرف عن نبات المريخ وحيوانه .

وقد يبدو الطابع المجرد الذي تتسم به معرفتنا الفيزيائية غير مرض بالنسبة للعقل غير الرياضي ، وربما كان ذلك أمراً مؤسفاً من وجهة النظر الفنية أو الخيالية ولكنه شيء لا قيمة له من وجهة النظر العملية . والتجريد — على ما فيه من صعوبة — هو مصدر القوة العملية . ورجل المال الذي تكون معاملاته مع العالم أشد تجريداً من أي رجل دِعي آخر ، هو أيضاً أقوى من أي رجل دِعي آخر . وهو يستطيع أن يتاجر في القمح أو القطن دون حاجة إلى رؤية أي منهما ؛ وكل ما يحتاج إلى معرفته هو هل تصعد أسعارهما أم تهبط . هذه هي المعرفة الرياضية المجردة ، إذا قورنت على الأقل بمعرفة رجل الزراعة . وشبيه بهذا رجل الفيزياء الذي لا يعرف عن المادة شيئاً اللهم إلا بعض القوانين المعينة عن حركاتها ، ومع ذلك فإنه يعرف ما يكفي ليجعله قادراً على تناولها علياً . فهو يصل — بعد أن يعمل خلال سلاسل طويلة من المعادلات تمثل فيها الرموز أشياء لن نعرف أبداً طبيعتها الحقيقية — يصل أخيراً إلى نتيجة يمكن أن تفسر في حدود إدراكنا الحسية ، وأن يتفجع بها لإحداث آثار مرغوبة في حياتنا . وما نعرفه عن المادة — على ما فيه من طابع تخطيطي مجرد — يكفي من حيث المبدأ لينبئنا بالقواعد التي يحدث طبقاً لها الإدراكات الحسية والمشاعر في نفوسنا ، وعلى هذه القواعد تتوقف الاستعمالات العلمية ، للفيزياء .

والخاتمة النهائية هي أننا نعرف القليل جداً ، ومع ذلك فن الغريب أن هذا القليل جداً كثير ، وأغرب من ذلك أن هذه المعرفة القليلة جداً يمكن أن تعطينا كل هذه القوة .

فهرس

| صفحة | |
|------|---|
| • | الفصل الأول : اللمس والنظر ، الأرض والسما . |
| ١٣ | د الثاني : ما يحدث وما يشاهده . |
| ٢٣ | د الثالث : سرعة الضوء . |
| ٣١ | د الرابع : الساعات والمساطر . |
| ٤١ | د الخامس : المكان — زمان . |
| ٤٩ | د السادس : نظرية النسبية الخاصة . |
| ٦١ | د السابع : الفواصل في متصل ، المكان — زمان ، |
| ٧٣ | د الثامن : قانون أينشتين . |
| ٨٥ | د التاسع : براهين على قانون أينشتين للجاذبية . |
| ٩٣ | د العاشر : الكتلة وكمية التحرك والطاقة والفعل . |
| ١٠٥ | د الحادى عشر : الكون المتمدد . |
| ١١٧ | د الثانى عشر : مواضعات وقوانين الطبيعة . |
| ١٢٧ | د الثالث عشر : إلغاء ، القوة ، |
| ١٣٥ | د الرابع عشر : ما المادة ؟ |
| ١٤٣ | د الخامس عشر : النتائج الفلسفية . |

الناشر



Bibliotheca Alexandrina



0696046